

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**NÁVRH, KONSTRUKCE A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ  
AUTONOMNÍ BUŇKY "SODOVAČ" PRO TESTBED  
PRŮMYSLU 4.0**

DESIGN OF MECHANICAL, ELECTRICAL CONSTRUCTION AND SOFTWARE EQUIPMENT OF  
AUTONOMOUS CELL "SODA MAKER" FOR INDUSTRY 4.0 TESTBED.

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Petr Dvorský**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Petr Dvorský

**ID:** 191395

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### **Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Sodovač" pro testbed Průmyslu 4.0**

## POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a realizovat výrobní buňku sodovače pro testbed Průmyslu 4.0, implementovat řízení v PLC a vizualizaci pro HMI a demonstrovat autonomní funkčnost výrobní buňky.

1. Seznamte se s koncepcí a aktuálním stavem testbedu a popište je
2. Nastudujte a popište existující rozhraní, prostřednictvím kterých dochází k výměně dat a výrobků mezi jednotlivými autonomními buňkami
3. Proveďte mechanický návrh jedné z autonomních buněk v kontextu možností budoucího automatického řízení
4. Vybavte mechanicky zkonstruovanou buňku snímači, akčními členy a řídicí logikou
5. Navrhněte, realizujte, zprovozněte a otestujte programové vybavení, dokumentujte průběžně všechny dílčí úkoly,
6. Proveďte přizpůsobení programového vybavení tak, aby buňka mohla být připojena do systému demonstrátoru.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design (Kaczmarczyk, 2018)

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 20.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
*předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

# **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace autonomní buňky pro tvorbu sody do zkušebního zařízení – testbed – pro Průmysl 4.0. Nejprve je v této práci předestřen obecný přístup k problematice řešení realizace autonomní buňky. Dále je popsán samotný konstrukční návrh, hydro-pneumatický systém, elektrické zapojení a programové vybavení buňky. Konstrukční návrh byl proveden v CADu NX 12 (Siemens PLM software). Většina z konstrukčních částí, které byly vytisknuty pomocí 3D tisku, byly vytvořeny na tiskárně od firmy Tarantula. Hydro-pneumatické schéma bylo vytvořeno v programu SMC-PneuDraw 2.8 s maximálním provozním tlakem systému 8,2 Baru. Elektrická dokumentace byla vytvořena v elektrickém CADu WSCAD. Pro řízení a komunikaci je autonomní buňka osazena jedním PLC SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC), HMI panelem (SIMATIC HMI KPT400 BASIC) a switchem – síťovým přepínačem - Linksys SD205. Programové vybavení buňky bylo vytvořeno v prostředí TIA Portal.

## **Klíčová slova**

Průmysl 4.0, Testbed, 3D tisk, CAD, Pneumatický systém, NX 12, PLC, HMI, WSCAD, TIA Portal

# **Abstract**

The objectives of this bachelor thesis are design and realization of an autonomous cell for soda production for the testbed of Industry 4.0. First, basic construction principles of the autonomous cell are outlined. Then, the mechanical design, the hydro-pneumatic system design, the electrical design and the software design are described. The drawing of the mechanical construction of the cell was devised using CAD NX 12 (Siemens PLM software). Most of the 3D printed parts were printed on 3D printer Tarantula. Hydro-pneumatic system was designed in SMC- PeuDraw 2.8 for maximal working pressure of 8.2 Bar. Electrical documentation was created in electrical CAD software WSCAD. For control and communication, the autonomous cell is equipped with PLC SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC), HMI panel (SIMATIC HMI KPT400 BASIC) and Linksys SD205 switch. The source code for control PLC and HMI was designed in TIA Portal software.

# **Keywords**

Industry 4.0, Testbed, 3D printing, CAD, Pneumatic system, NX 12, PLC, HMI, WSCAD, TIA Portal

## **Bibliografická citace:**

DVORSKÝ, Petr. *Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Sodovač" pro testbed Průmyslu 4.0.* Brno, 2019, 64 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Václav Kaczmarczyk.

## **Prohlášení autora o původnosti díla**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Sodovač" pro testbed Průmyslu 4.0 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 14. května 2019

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

V Brně dne: 14. května 2019

.....  
podpis autora



# Obsah

1	Úvod.....	11
2	Teoretický Rozbor.....	12
2.1	Koncepce testbedu.....	12
2.2	Testbed v kontextu Průmyslu 4.0.....	13
2.3	Popis existujícího komunikačního rozhraní .....	14
2.4	Mechanický návrh autonomní buňky .....	15
2.5	Princip sycení pitné vody v autonomní buňce.....	15
2.6	Snímače, akční členy, řídicí logika buňky.....	17
2.7	Návrh a realizace programového vybavení .....	18
2.8	Programové vybavení buňky a testbed .....	18
2.9	Použité softwarové prostředky.....	18
2.9.1	Siemens NX12 .....	18
2.9.2	WSCAD Suite X.....	19
2.9.3	TIA Portal.....	20
3	Konstrukční návrh buňky Sodovače.....	22
3.1	Návrh a realizace komponent .....	22
3.2	Vizualizace buňky pomocí programu Siemens NX12 .....	22
3.2.1	Tlaková spojka .....	23
3.2.2	Úchyt tlakové láhve a její vážení .....	25
3.2.3	Držadlo nerezové nádrže .....	27
3.2.4	Kryt nerezové nádrže .....	28
4	Hydro-pneumatické rozvody buňky .....	29
4.1	Popis zapojení.....	29
4.2	Proces výroby sody.....	30
4.3	Princip hydromechaniky výdejní fáze.....	31
4.4	Reálná funkčnost výroby sody.....	31
4.5	Optimalizace rozvodných větví.....	34
5	Elektrické rozvody buňky .....	35
5.1	Zemnění buňky a jednotlivých prvků.....	35
5.2	Zapojení jednotlivých prvků.....	35
5.2.1	PLC Siemens SIMATIC S7-1214C DC/DC/DC .....	35
5.2.2	HMI KTP400 Basic .....	36
5.2.3	Linksys SD205.....	36
5.2.4	Stykač EATON DILEM-10 .....	36
5.2.5	Akční členy .....	36
5.2.6	Binární snímače.....	38
5.2.7	Tenzometrické měření hmotnosti.....	38

6	Programové vybavení buňky.....	41
6.1	Hierarchie programu .....	41
6.2	Komunikační rozhraní programu.....	42
6.3	Procesní popis výroby sody .....	43
6.4	Vizualizace pro HMI KTP400.....	44
6.5	Analogové zpracování hodnoty.....	46
7	Závěr.....	47
	Literatura .....	49
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	51
	Seznam příloh .....	53

## Seznam obrázků

Obr. 2.1: Aktuální stav testbedu pro Průmysl 4.0 .....	12
Obr. 2.2: Virtuální model testbedu pro Průmysl 4.0 .....	14
Obr. 2.3: Metody průmyslového sycení nápojů [5] .....	16
Obr. 2.4: Model buňky v prostředí Siemens NX12 .....	19
Obr. 2.5: Tvorba elektrického schématu v prostředí WSCAD Suite X.....	20
Obr. 2.6: Vývojové prostředí TIA Portal SP1 .....	21
Obr. 3.1: 3D model buňky Sodovač.....	23
Obr. 3.2: Řez tlakovými spojkami.....	23
Obr. 3.3: Sestava pro tenzometrické měření hmotnosti tlakové láhve .....	25
Obr. 3.4: Horní úchyt pro minimalizaci torzního namáhání deformačního členu ...	26
Obr. 3.5: Držák nerezové nádrže .....	27
Obr. 3.6: Kryt nerezové nádrže.....	28
Obr. 4.1: Hydro-pneumatické schéma.....	29
Obr. 4.2: Princip funkce výčepu s Keg sudem [16] .....	31
Obr. 4.3: Schéma principu vypouštění kapaliny .....	32
Obr. 4.4: Natočení T spojky pro napouštění pitné vody .....	34
Obr. 5.1: Připojení indukčnosti k napětovému zdroji přes spínač [17] .....	37
Obr. 5.2: Indukčnost ošetřená nulovou diodou [17] .....	38
Obr. 5.3a: Poloviční, Obr. 5.4b: Plné zapojení Wheatstonova můstku [18].....	39
Obr. 5.5: Upravené schéma napětového zesilovače [19] .....	40
Obr. 5.6: DPS napětového zesilovače .....	40
Obr. 6.1: Hierarchie programu v PLC.....	41
Obr. 6.2: UDT tlakového ventilu.....	42
Obr. 6.3: Hierarchie obrazovek pro HMI panel .....	44
Obr. 6.4: Úvodní obrazovka HMI.....	44
Obr. 6.5: HMI obrazovka pro nastavení buňky.....	45
Obr. 6.6: HMI obrazovka pro ovládání CM .....	45
Obr. 7.1: Současný stav reálné buňky a jejího modelu.....	48

# 1 ÚVOD

Tato bakalářská práce vznikla za účelem seznámení se s myšlenkami konceptu Průmyslu 4.0 a následné realizace a demonstrace určitého funkčního zařízení v testbedu pro Průmyslu 4.0.

Práce se tedy zabývá vytvořením komplexního funkčního obslužného členu, který bude následně zapojen přímo do zkušebního zařízení pro Průmysl 4.0. Vytvořením funkčního členu je v tomto případě myšleno kompletní vytvoření autonomní buňky pro automatizovanou tvorbu sody.

Vytvoření autonomní buňky, dále také Sodovače, zahrnuje kompletní konstrukční návrh v prostředí Siemens NX12 a její celkovou realizaci (kapitola 3). Praktická realizace konstrukce Sodovače je provedena za pomoci 3D tisku, běžně dostupných akčních členů, snímačů, řídicí elektroniky a běžně dostupného spojového a jiného materiálu.

Z jednotlivých funkcí Sodovače je v této práci podrobně popsán a vysvětlen návrh a realizace jeho hydro-pneumatického systému, popis procesu jeho výroby z hlediska tohoto návrhu a jeho optimalizace (kapitola 4).

Práce se dále zabývá návrhem a realizací elektrického zapojení lokálního rozvaděče autonomní buňky (kapitola 5), tedy propojením jednotlivých akčních členů, snímačů a řídicí elektroniky. Dále způsobem provedení zemnění autonomní buňky, bezpečnostním zapojením buňky a způsobem připojení autonomní buňky k hlavnímu rozvodu elektrické energie celého zkušebního zařízení. Pro kompletní vytvoření elektrické dokumentace byl zvolen program WSCAD.

Konečně je v tomto textu také pojednáno o programovém vybavení buňky Sodovače pro řídicí PLC (kapitola 6). Je zde popsáno jeho hierarchické rozdělení, procesní pohled výroby sody a vizualizace pro operátorskou obsluhu.

Všechna cizojazyčná a jinak neobvyklá terminologie stejně jako zkratky nacházející se v tomto textu je uvedena na konci dokumentu v seznamu Symbolů, veličin a zkratk. (str. 51)

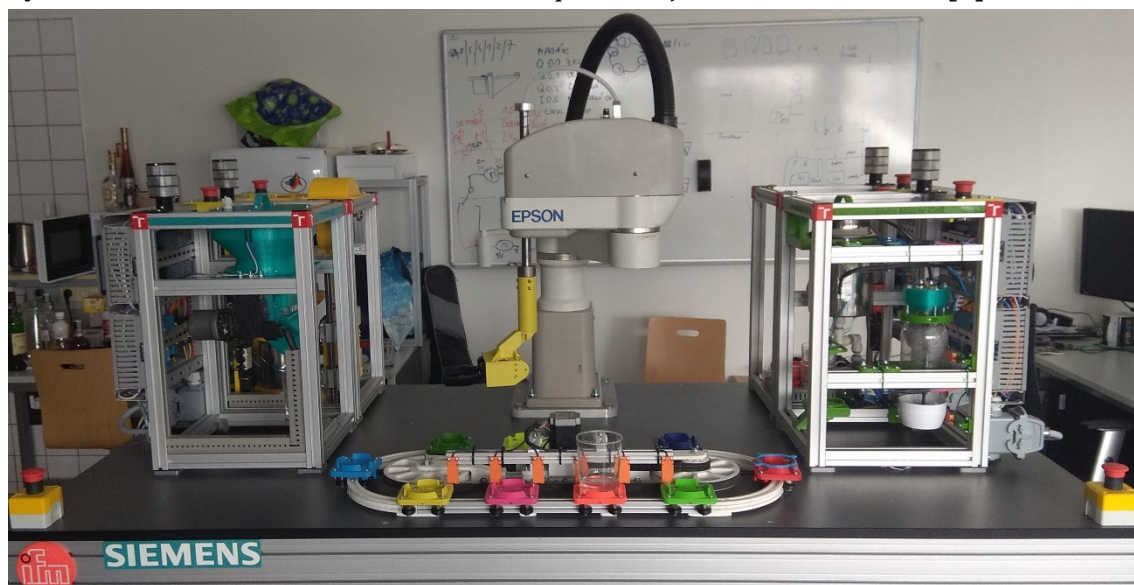
## 2 TEORETICKÝ ROZBOR

Tato kapitola se zabývá rozбором testbedu pro Průmysl 4.0, dále teoretickým principem výroby sycených nápojů, postupem při vývoji samotné autonomní buňky a důležitými softwarovými prostředími, za pomoci kterých byla buňka realizována.

### 2.1 Koncepce testbedu

Důležitým aspektem věci a samým začátkem pro správný návrh autonomní buňky Sodovače je seznámení se s aktuálním stavem celého testbedu, do něhož je buňka navrhována a do něž bude v budoucnu zapojena.

Samotný testbed pro Průmysl 4.0 nese pracovní označení „Barman“. Funkce celého testbedu nespočívá pouze v automatizované výrobě alkoholických, či nealkoholických míchaných nápojů, ale především v demonstraci základních principů Průmyslu 4.0 a jejich uvedení do praktického použití. Důvodů k realizaci testbedu, jako je tento automatizovaný míchač nápojů je hned několik. Předně mezi ně patří názornost realizace, levné vstupní procesní suroviny, užitelnost výstupních výrobků, minimální znečištění okolních prostor, jakož i mnohé další. [1]



Obr. 2.1: Aktuální stav testbedu pro Průmysl 4.0

Testbed jako takový, lze rozdělit do několika subsystémů, které mají specifické úkoly a jako celek budou tvořit decentralizovaný systém pro výrobu dle principů Průmyslu 4.0.

Jako první subsystém mohou být chápány jednotlivé autonomní buňky. Každá z těchto buněk má specifickou funkci (např. Sklad skleniček, Sodovač, Shaker, atd.), avšak díky decentralizaci systému řízení je každá z nich plně záměnná.

Každá buňka vykonává na míchaném nápoji specifické úlohy dle jeho požadavků uložených v jeho proceduře.

Další ze subsystémů celého testbedu je SCARA robot. Umožňuje přepravu výrobků v podobě skleniček mezi jednotlivými stanovišti, tedy mezi buňkami, dopravníkovým pásem nebo odkladištěm.

Je třeba zmínit subsystém dopravníkového pásu, jehož prostřednictvím dochází k výdeji výrobku a po zpracování výrobku (vypití drinku) taktéž k jeho odkladu a k následnému znovuzpracování.

V neposlední řadě je třeba zmínit výrobek (dále také „sklenička“), který je výše zmíněnými subsystémy obsluhován a vzniká v něm výsledný produkt míchaného nápoje.

## 2.2 Testbed v kontextu Průmyslu 4.0

Čtvrtá průmyslová revoluce nepřináší zásadní změny pouze pro oblast průmyslové výroby. Ta sice stojí v jejím centru, avšak její přesah je mnohem širší. Jedná se o novou filozofii přinášející změnu do celé řady oborů od průmyslu, přes oblast technické standardizace, bezpečnosti, systému vzdělávání, právního rámce, vědy a výzkumu až po trh práce nebo sociální systém. [1]

Nástup nových technologií vytváří mimo jiné tlak na flexibilitu moderní průmyslové výroby a zvýšené nároky na kybernetickou bezpečnost a interdisciplinaritu. Průmysl 4.0 tak není snahou o pouhou digitalizaci průmyslové výroby, nýbrž komplexním systémem změn spojených s řadou činností. Na úrovni průmyslové výroby pak transformuje výrobu ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná a průběžně optimalizovaná výrobní prostředí. [1]

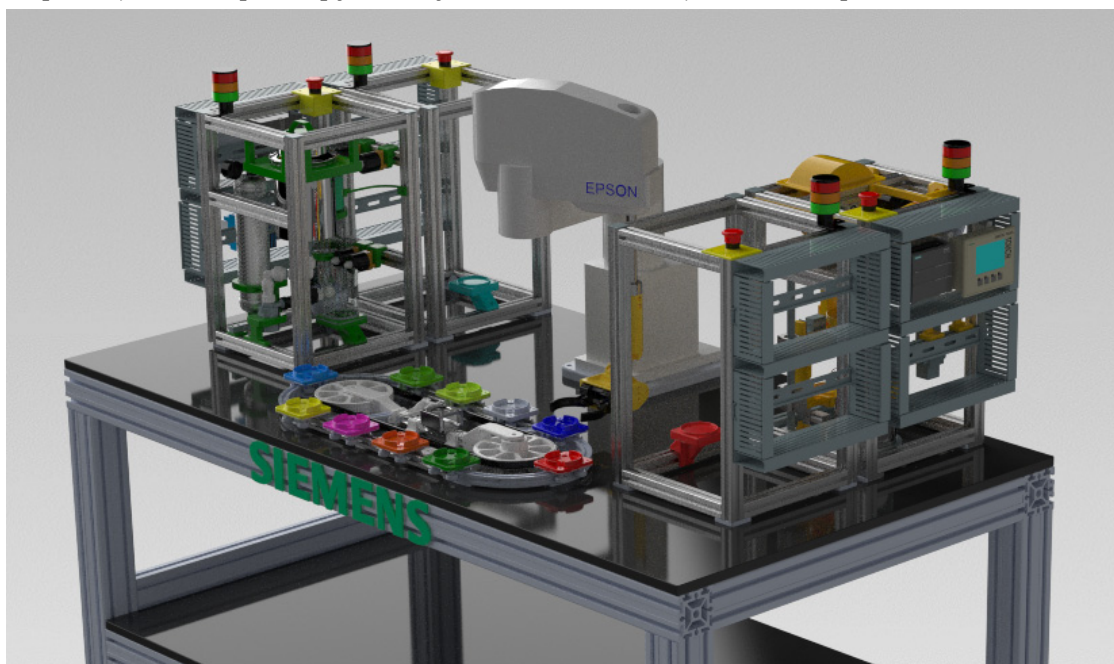
Tesbed pro Průmysl 4.0 právě reprezentuje několik základních principů, kterými se Průmysl 4.0 vyznačuje, jako je virtualizace, decentralizace, modularita a rekonfiguralita.

Virtualizace v tomto pojetí znamená, že celý testbed má vytvořen svůj digitální model v programu Siemens NX12, který lze vidět na Obr. 2.2. Díky tomu lze na testbed virtuálně nahlédnout a prozkoumat jej do nejmenších detailů, řešit nejrůznější úlohy, jako simulace vhodného konstrukčního návrhu v testbedu a v budoucnu i jeho virtuální zprovoznění nebo použití jako virtuálního dvojčete skutečného testbedu.

Decentralizací se rozumí situace, kdy si každý výrobek v testbedu vyjednává výrobu sám a veškeré své informace a recepturu si nese v sobě. To je změna vzhledem k dnešnímu přístupu, kdy je výroba řízena některou z vyšších vrstev plánování.

Modularita a rekonfiguralita, je v případě tesbedu respektována v podobě standartních rozhraní autonomních buněk. Až na výjimku v podobě buňky skladu alkoholu jsou všechny buňky sestaveny ze stejně velkých koster z hliníkových profilů a mají standartní připojení pro silové napájení a komunikaci. To umožňuje v rámci testbedu jakkoliv zaměňovat autonomní buňky, a tak jej libovolně nakonfigurovat dle aktuálních potřeb.

Testbed pro Průmysl 4.0 je navržen jako model malé továrny, která respektuje určité principy Průmyslu 4.0 a snaží se je uvést do praxe.



Obr. 2.2: Virtuální model testbedu pro Průmysl 4.0

## 2.3 Popis existujícího komunikačního rozhraní

Komunikační rozhraní mezi samotným výrobkem a jednotlivými autonomními buňkami vychází z jednoho ze základních principů Průmyslu 4.0, tedy z decentralizace řídicího systému výroby. [2]

Sklenička (dále také „výrobek“) má na své spodní straně připevněnou 1Kb NFC paměť (NFC tag) uchovávající všechna potřebná data k výrobě, tedy posloupnost celé procedury, informace o již provedených akcích nad výrobkem, požadovaných akcích, atd.

Výrobek je v buňce vždy vložen na předem definované místo. Na tomto místě se nachází podstavec s integrovaným NFC R/W modulem. Ten umožňuje komunikaci výrobku nejen s danou buňkou, ale se všemi ostatními moduly zapojenými do procesu, které spolu taktéž mohou komunikovat pomocí ethernetového rozhraní. Programové přizpůsobení komunikačního rozhraní autonomní buňky je dále popsáno v kapitole 6.2

## 2.4 Mechanický návrh autonomní buňky

Mechanický návrh autonomní buňky, v tomto případě automatizovaného Sodovače, musí splňovat několik základních požadavků.

Prvním a nejdůležitějším požadavkem je funkčnost návrhu Sodovače. Tím je myšleno sestavení samotné buňky z prefabrikovaných hliníkových profilů, vhodné rozmístění samotných konstrukčních prvků v buňce a dále návrh a skutečná realizace uchycení těchto prvků pomocí technologie 3D tisku. Dále je tím myšleno veškeré umístění snímačů pro snímání hladiny vody v nádržích, hmotnosti tlakové láhve a průtoku tekutiny do výrobku, taktéž umístění akčních členů jako jsou tlakové ventily a čerpadlo a konečně rozmístění plynových a kapalinových rozvodů pro výrobu sody a jejich upevnění.

Veškerý mechanický návrh je nejdříve modelován a následně simulován v prostředí Siemens NX 12 (popis prostředí v kap. 2.9.1), což je 3D CAD návrhové prostředí. Pomocí digitálního dvojčete autonomní buňky, tedy přesně 3D vymodelované buňky v návrhovém prostředí, je možné odzkoušet rozmístění komponent, jejich úchyt a rozměry. Díky těmto vlastnostem uvedený program výrazně urychluje fyzickou realizovatelnost buňky, neboť navržené díly jsou již odzkoušeny, a tak mohou být vyrobeny pouze jednou a přesně. Tento přístup je opět vlastní myšlence Průmyslu 4.0, kdy je řešení nejprve navrženo, následně simulováno a vyzkoušeno virtuálně a až následně při propracování všech detailů je převedeno do reality. Tímto se zkracuje čas realizace zadané úlohy, snižují se náklady na vyhotovení úlohy a díky simulacím se předchází mnoha problémům, které by eventuálně mohly nastat při samotné realizaci, již simulace nepředcházela. [1]

Dalším přístupem Průmyslu 4.0 je produkce vlastních konstrukčních prvků pomocí 3D tisku. Díky tomuto přístupu lze vyrobit levné konstrukce, která je přitom specifická, vzhledem k jiným potřebám každé buňky. Oproti dřívějšímu přístupu, kdy nejdříve musela být navržena a následně zpravidla za značných nákladů složitě vyrobena forma, přináší tento přístup zrychlení konstrukčního procesu stejně jako úsporu nákladů. [2]

## 2.5 Princip sycení pitné vody v autonomní buňce

Úkolem této autonomní buňky je vytvářet sycenou pitnou vodu (sodu) pro míchané nápoje vytvářené testbedem. Se sycenými nápoji se můžeme potkat v každodenním životě, ať už v podobě například perlivých vod, nebo sodovek. Mnoho lidí těmito nápoji pravidelně zahání žízeň, avšak je obecně známo, že jejich nadměrná konzumace může vést k problémům s trávicím traktem, jako jsou nadměrné říhání, plynatost a nadýmání.



Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) je rozpustný ve vodě a plní v nealkoholických nápojích osvěžující funkci a používá se k dosycení, nebo sycení nápojů. Reakcí vody a oxidu uhličitého vzniká v nápoji kyselina uhličitá, která disociuje na ionty (rovnice 2.1 [3]).

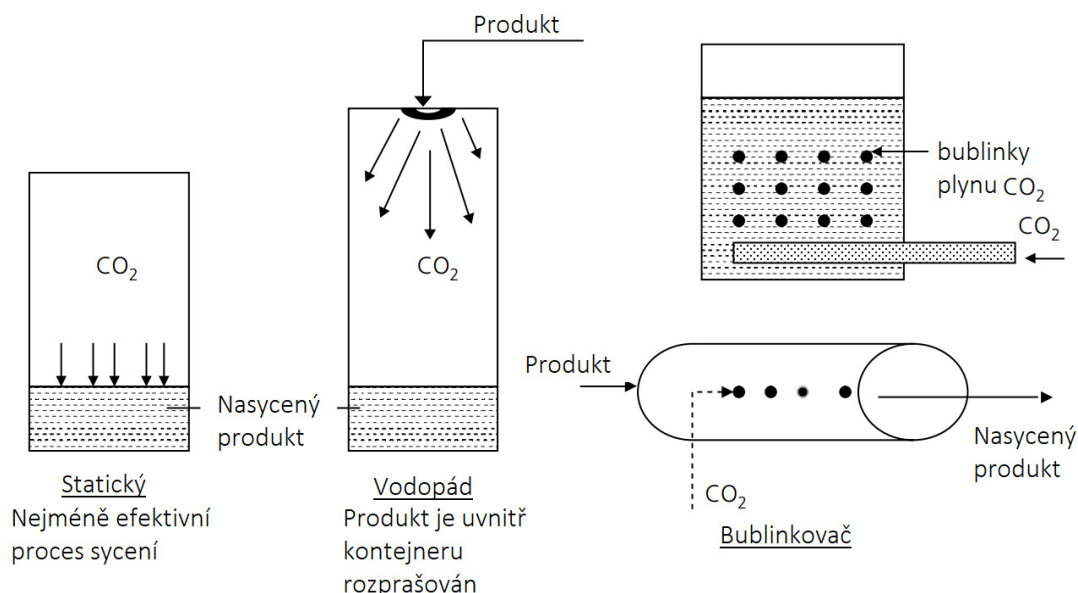


Kde  $\text{CO}_2$  je oxid uhličitý,  $\text{H}_2\text{O}$  je voda,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  je kyselina uhličitá a  $\text{HCO}_3^-$  a  $\text{H}^+$  jsou vzniklé ionty po disociaci kyseliny uhličitě.

V této reakci můžeme sledovat významnou roli tlaku a teploty systému ovlivňující rozpustnost oxidu uhličitého ve vodě, kdy je za vyššího tlaku nebo nižší teploty ve vodě rozpuštěno více  $\text{CO}_2$ .

Pro přípravu syceného nápoje používáme zvýšeného tlaku k vytvoření kyseliny uhličitě. Po následném snížení tlaku se část disociované kyseliny uhličitě uvolní v podobě oxidu uhličitého. Tato uvolněná část  $\text{CO}_2$  odpovídá podílu, který při sníženém tlaku již nemůže být rozpuštěn a je pozorováno v podobě bublinek v nápoji. [3]

Kyselina uhličitá přirozeně může být součástí minerálních vod, též vzniká v ovocných šťávách, které začínají kvasit. Dodává se do limonád, nápojů a sodovek. Hlavním požadavkem na tuto sloučeninu je, aby byla potravinářské kvality. Může to být tedy i oxid uhličitý, který vznikl během fermentačních procesů při výrobě piva, vína nebo droždí. Nesmí obsahovat látky, jako jsou například sulfan, oxid siřičitý, glycerin, minerální oleje nebo chlorovodík. Pro účely technologie nápojů se používá v plynné formě. [4]



**Obr. 2.3: Metody průmyslového sycení nápojů [5]**

Průmyslové sycení nápojů probíhá v karbonátorech. Produkt je přiveden do nádoby, která je natlakována plynným oxidem uhličitým. Pro zajištění správné

úrovně nasycení  $\text{CO}_2$  je rozhodující rychlost průtoku a tlak oxidu uhličitého. Čím větší povrch tekutiny je vystaven působení oxidu uhličitého, tím většího stupně absorpce oxidu uhličitého lze dosáhnout. Oxid uhličitý je do tekutiny dostáván pod tlakem, a tím vzniknou malé bubliny, které jsou tekutinou lépe absorbovatelné. Čím vyšší je vyvíjený tlak, tím menší jsou bubliny. Produkt je rozprostřen na chlazených deskách a stéká po nich v tenké vrstvě. Tento proces probíhá v atmosféře oxidu uhličitého. Chlazením produktu ve filmové vrstvě se maximalizuje povrch tekutiny, který je dostupný působení  $\text{CO}_2$ , a oxid uhličitý snadněji zůstává v nápoji. [5]

Jednotlivé metody sycení pomocí oxidu uhličitého lze vidět na Obr. 2.3. Způsob sycení pitné vody a celý výrobní proces sody v autonomní buňce je dále popsán v kapitole 4.2.

Každý sycený nápoj charakterizuje hodnota oxidu uhličitého, který je v něm rozpuštěn. Pro sodovou vodu (což je podle zákona o potravinách, resp. nápojové vyhlášky pitná voda s obsahem  $\text{CO}_2$  nejméně 0,4 hmotnostních %) má obsah  $\text{CO}_2$  až 7000-8000 mg/l. (Pro srovnání: pivo obsahuje obvykle 4000 - 5000 mg  $\text{CO}_2$ /l.) [6]

## 2.6 Snímače, akční členy, řídicí logika buňky

Vzhledem ke specifikaci vytvářené autonomní buňky je nutné vybavit ji nejrůznějšími snímači, akčními členy a samotnou řídicí logikou, která obstarává její funkčnost.

Bez měření jednotlivých fyzikálních veličin potřebných k určení chování systému, nelze samotný systém řídit. Z podstaty funkce Sodovače a jeho bezpečnosti je nutné zajistit bezpečně únosný tlak uvnitř směšovacího kontejneru, kde se mísí oxid uhličitý a pitná voda, vůči jeho okolí. Směšovacím kontejnerem v tomto případě bude běžně dostupná láhev Sodastream. Regulaci maximálního provozního tlaku uvnitř směšovacího kontejneru dosáhneme pomocí bezpečnostního přetlakového ventilu kalibrovaného na hodnotu 8,2 Baru, zpětného ventilu a časovaným tlakováním směšovacího kontejneru. Taktéž je pro funkčnost celého zařízení zásadní schopnost měřit maximální a minimální hodnotu hladiny ve směšovacím kontejneru pomocí kapacitních snímačů. Dále je nutné zajistit, aby byl v kontejneru na pitnou vodu dostatečný objem vody pro bezproblémový chod buňky. To bude zajištěno dvěma plováчковými binárními snímači nainstalovanými na spodní straně nerezové nádrže na pitnou vodu. Snímání zbytkového objemu  $\text{CO}_2$  v tlakové láhvi bude převedeno na měření hmotnosti této láhve. Snímáno bude tenzometrem nalepeným na deformačním členu, který bude zároveň úchytem pro tlakovou láhev. Budeme taktéž měřit objem pitné vody načerpaný do směšovacího kontejneru a objem sody z toho kontejneru přečerpaný do koncového výrobku. Měření přečerpaného objemu budeme měřit pomocí dvou průtokoměrů.

Buňka bude vybavena dvěma druhy akčních členů. Prvním druhem jsou vysokotlaké ventily. Tyto ventily budou mít za úkol oddělovat vysokotlaké prostředí uvnitř směšovacího kontejneru od prostředí s nižším tlakem jakým je kontejner s pitnou vodou a výpust' do skleničky.

Druhým druhem použitého akčního členu bude vodní čerpadlo. To bude zaručovat přečerpávání vody z kontejneru pitné vody do směšovacího kontejneru pro přípravu sody.

Buňka bude dále obsahovat již zmíněné komunikační rozhraní pomocí NFC R/W modulu. Všechny snímače, akční členy a komunikační prvky budou vhodně zapojeny, ať už přímo, nebo přes oddělovací členy k řídicí logice.

Řídicí logikou buňky je myšlen systém zapojení PLC a jeho periférií jako HMI panel a síťový switch. V našem případě se jedná o PLC SIMATIC S7-1200 CPU typu 1214C DC/DC/DC od značky Siemens, panel HMI KTP400 Basic od značky Siemens a síťový switch Linksys SD205.

## **2.7 Návrh a realizace programového vybavení**

Programové vybavení autonomní buňky umožní řízení a provedení jednotlivých úkonů dle procedury pro výrobu sody a dále obsluhu výrobu a komunikaci výrobku nejen s buňkou, která výrobek obsluhuje, nýbrž i s ostatními prvky celého testbedu.

Toto programové vybavení bude nahráno do paměti již zmíněného CPU PLC Siemens SIMATIC S7-1200.

## **2.8 Programové vybavení buňky a testbed**

Bude nutné přizpůsobit programové vybavení tak, aby po připojení autonomní buňky do testbedu buňka komunikovala s ostatními prvky a vykonávala svou funkci bez problémů. Buňka musí být taktéž plně nahraditelná, takže nesmí dojít ke komplikacím při jejím zapojení nebo odpojení od samotného testbedu.

## **2.9 Použité softwarové prostředky**

Pro realizaci autonomní buňky bylo nutné seznámit se s programovými nástroji pro její konstrukční a elektrický návrh a následně pro její programové vybavení. Tyto nástroje ulehčují návrh celé autonomní buňky a zrychlují její vývoj.

### **2.9.1 Siemens NX12**

Systém NX poskytuje platformu pro komplexní vývoj produktu od jeho návrhu (CAD), přes simulace (CAE), programování CNC strojů (CAM) až po programování měřicích strojů (CMM). Umožňuje tedy „bezešvé“ propojení všech oddělení, které se

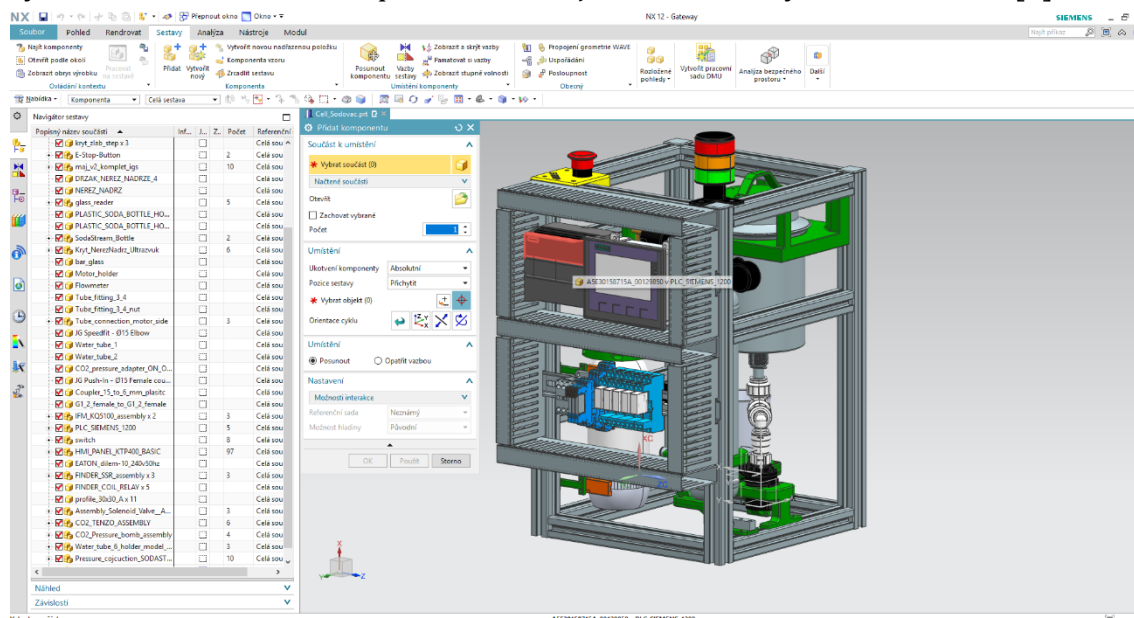
podílejí na vývoji výrobků. Siemens NX je jedním z nejkompaktnějších CAx nástrojů na trhu. V jednom systému lze řešit celý proces vývoje výrobku, od tvorby konceptu, přes detailní konstrukční návrh, ověřování a simulace, přípravu NC programů pro CNC stroje až po programování měřicích strojů. [7]

Kromě toho umožňuje uchovávat firemní know-how, kontrolovat dodržování firemních standardů, a ve spojení se platformou Teamcenter umožňuje sledovat a řídit celý životní cyklus výrobku. [7]

Pro potřeby této práce bylo využito NX 12 CAD prostředí, které nabízí možnost 3D modelování jednotlivých částí, jejich parametrizování a následné tvorby výkresové dokumentace. NX 12 taktéž nabízí spojení vymodelovaných částí, a tedy skládání komplexních sestav. Tyto sestavy dále mohou být použity pro simulaci jejich funkčnosti nebo například mohou být použity s dalším softwarem z rodiny Siemens PLM jako digitální dvojče reálné sestavy.

Konkurenčními alternativami k programu CAD NX 12 mohou být SolidWorks od firmy Dassault Systèmes SolidWorks Corp, nebo Autodesk Inventor.

Minimálním požadavkem pro správnou funkcionalitu programu NX 12 na výpočetní stanici je operační systém Microsoft Windows (64-bit verze). Nižší verze systému Windows již nejsou touto nejnovější verzí NX podporovány. Minimálními doporučenými hardwarovými požadavky jsou 8 GB RAM. Typy vhodných procesorů nejsou specifikovány, avšak při nevyhovujících parametrech systém tuto skutečnost rozpozná a ohlásí ji standartní chybovou hláškou. [8]



Obr. 2.4: Model buňky v prostředí Siemens NX12

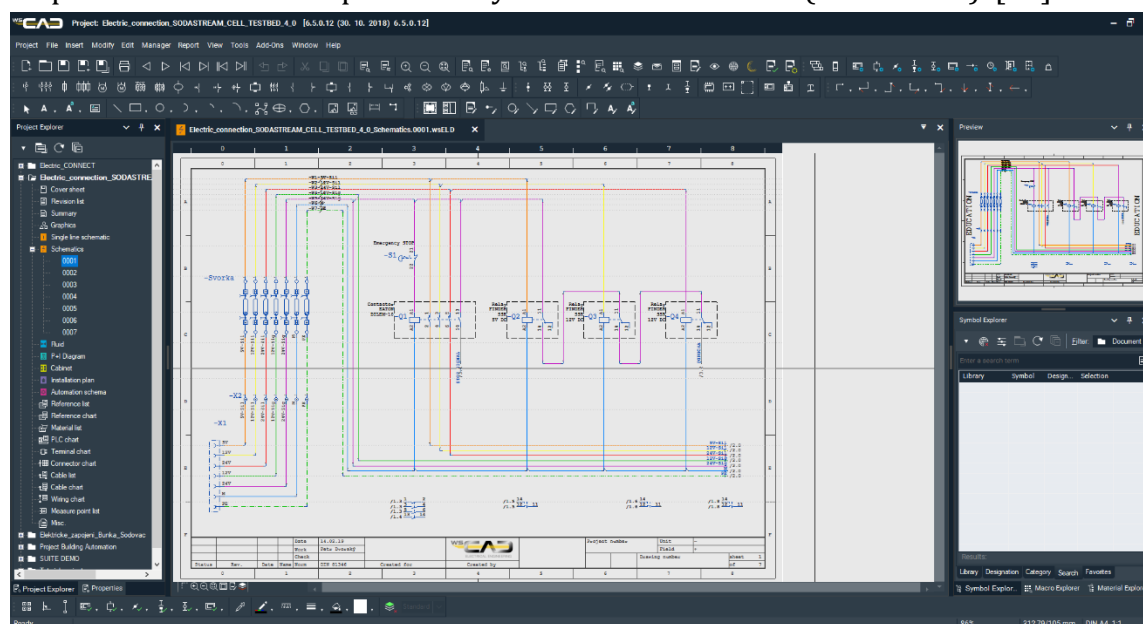
## 2.9.2 WSCAD Suite X

WSCAD nabízí softwarová technická řešení, která pomáhají firmám urychlit proces vývoje produktů, které podstatně snižují náklady na vývoj a zároveň zvyšují jeho

kvalitu. WSCAD poskytuje rychlý a spolehlivý CAD, který v sobě integruje návrhová prostředí pro šest různých oborů. Těmi jsou elektrotechnika, návrh rozvaděčů a skříní, technologická schémata rozvodů potrubí kapalin a plynů, automatizace budov a elektroinstalace. Velká část technických dat od výrobců je integrována a nabízí uživatelům časové úspory a zlepšení kvality návrhu. [9]

V tomto případě byl využit WSCAD pro návrh elektrického zapojení buňky. Firma WSCAD GmbH již více než 29 let nabízí rychlý a spolehlivý elektrický CAD jehož řešení pokrývá celý proces projektování a dokumentace v oblasti elektrotechniky. CAD je vhodný jak pro velké a střední podniky, tak pro jednotlivce. WSCAD Suite X umožňuje konstruktérům a projektantům plánovat, vyvíjet a dokumentovat systémy středního, nízkého a mimořádně nízkého napětí ve trojfázích, průmyslové automatizaci a automatizaci budov. Výrobci rozvaděčů a skříní, manažeři zařízení, servisní a servisní firmy, jakož i průmysloví elektrikáři používají tento uživatelsky příjemný software pro práci se schématy a revizními dokumenty. [10]

Minimálními požadavky na hardware stanoveny výrobcem jsou CPU Dual Core 2GHz, operační paměť (RAM) 4 GB. Výpočetní stanice dále musí disponovat minimálně operačním systémem Windows 10 (verze 1709). [11]



Obr. 2.5: Tvorba elektrického schématu v prostředí WSCAD Suite X

### 2.9.3 TIA Portal

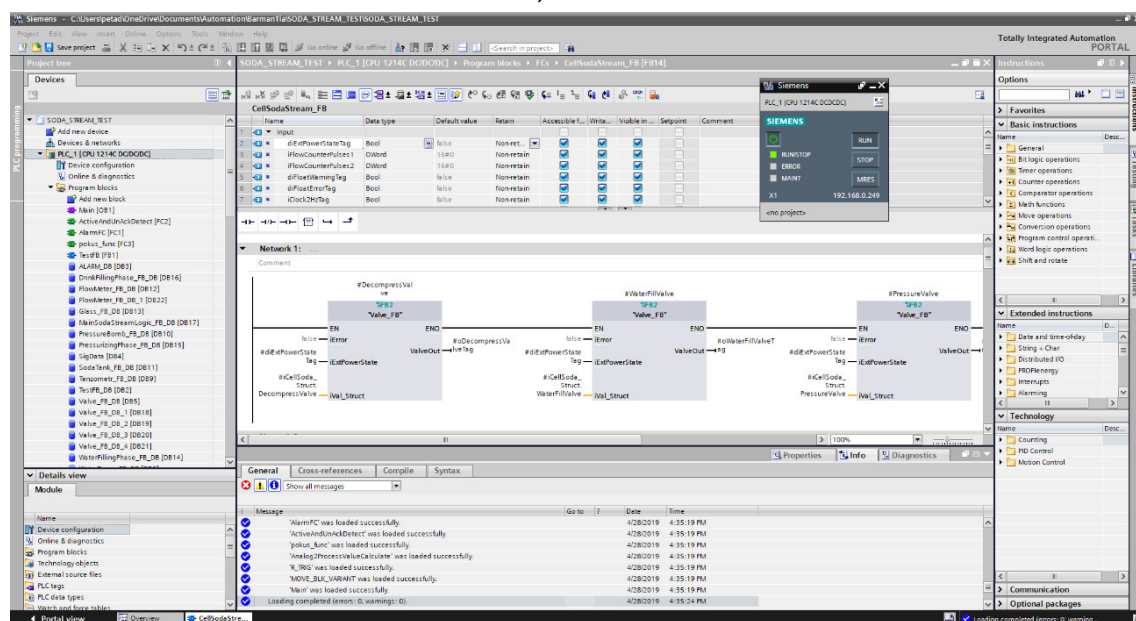
Totally Integrated Automation Portal je software od firmy Siemens pro vývoj uživatelských aplikací pro PLC a decentrální periferie, projektování panelů HMI, rozsáhlých vizualizací SCADA, síťových komponent a komunikačních prvků i konfigurace a uvádění pohonů do provozu. To vše je integrováno do společného softwarového prostředí s jednotným a jednoduchým ovládáním z jedné jediné

plochy, což vede nejen ke zrychlení tvorby uživatelských aplikací, ale i k vyšší konzistenci dat napříč celým projektem a zároveň k jednodušší a transparentnější struktuře celého řešení, kterou lze snadno měnit nebo doplňovat a která zjednodušuje diagnostiku v běžném provozu, tedy i údržbu a servis automatizační techniky. [12]

Čas, náklady a kvalita jsou rozhodujícími faktory zvyšování produktivity a konkurenceschopnosti. Cílem musí být vždy zkrácení doby od myšlenky k hotovému stroji, resp. hotovému produktu při zachování maximální flexibility. Současně je třeba minimalizovat náklady a zlepšit kvalitu. Platforma Totally Integrated Automation (TIA) se již úspěšně zabydla ve všech oborech. Se svými charakteristickými systémovými vlastnostmi – programování (vývoj), komunikace, diagnostika, safety technika, obecná bezpečnost a robustnost – podporuje TIA kompletní životní cyklus stroje, resp. zařízení. Pro přípravu a realizaci projektu je dnes komplexní a jednotné prostředí žádanější než kdykoli předtím, protože šetří čas a peníze. Společnost Siemens je již po desetiletí hlavním představitelem vývoje inženýrských softwarových nástrojů a je si tedy vědoma toho, jak vysoký význam má efektivní, intuitivní a osvědčený inženýrský software. [12]

V této práci byla použita verze TIA Portal V14 SP1 Update 7. Doporučené hardwarové vybavení pro výpočetní stanici vůči tomuto softwaru je následující. Procesor Intel Core i5-6440EQ(2,7 GHz), RAM 16GB, SSD disk. Požadovaným operačním systémem je minimálně Windows 7 (64-bit). [13]

Při návrhu programového vybavení pro buňku Sodovač byla taktéž využita možnost spuštění virtuálního PLC pomocí modulu S7-PLCSIM V14. Tato skutečnost umožňuje reálné zkoušení programu bez nutnosti použít fyzický hardware. Modul nabízí simulaci třech CPU a to S7-1500, S7-1200 a ET 200SP.



Obr. 2.6: Vývojové prostředí TIA Portal SP1

## **3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH BUŇKY SODOVAČE**

Konstrukční návrh pro autonomní buňku musí zaručovat funkčnost buňky po mechanické stránce, tj. stav kdy jsou jednotlivé použité prvky správně propojeny a utěsněny tak, aby nedocházelo k nežádoucímu úniku kapaliny ani plynu. Jednotlivé prvky musí být vůči sobě správně rozmístěny a jejich propojení by mělo být co nejjednodušší a nejpřehlednější. Vyjímatelné prvky musí být snadno přístupné a záměnné. Samozřejmostí je taktéž správné umístění snímačů, akčních členů a řídicích jednotek uzpůsobené jejich budoucímu zapojení.

Veškeré tyto požadavky na rozmístění a zapojení však podléhají nejprísnějšímu kritériu, jímž je prostorové omezení, neboť vyjma řídicí logiky musí být vše vměstnáno do kvádrů vytvořeného z hliníkových profilů o rozměrech 30x30x50 cm.

### **3.1 Návrh a realizace komponent**

Veškeré návrhy komponent pro konstrukci je nejdříve třeba navrhnout pomocí 3D CAD prostředí Siemens NX12. Následně je v tomto prostředí pomocí 3D vizualizace simulováno spojení jednotlivých komponent. Pokud návrh komponenty, či sestavy jednotlivých komponent nevyhovuje všem zadaným požadavkům, je návrh přepracován a cyklus návrhu se opakuje. Jestliže návrh komponenty vyhovuje požadovaným parametrům, je tento návrh převeden do praxe.

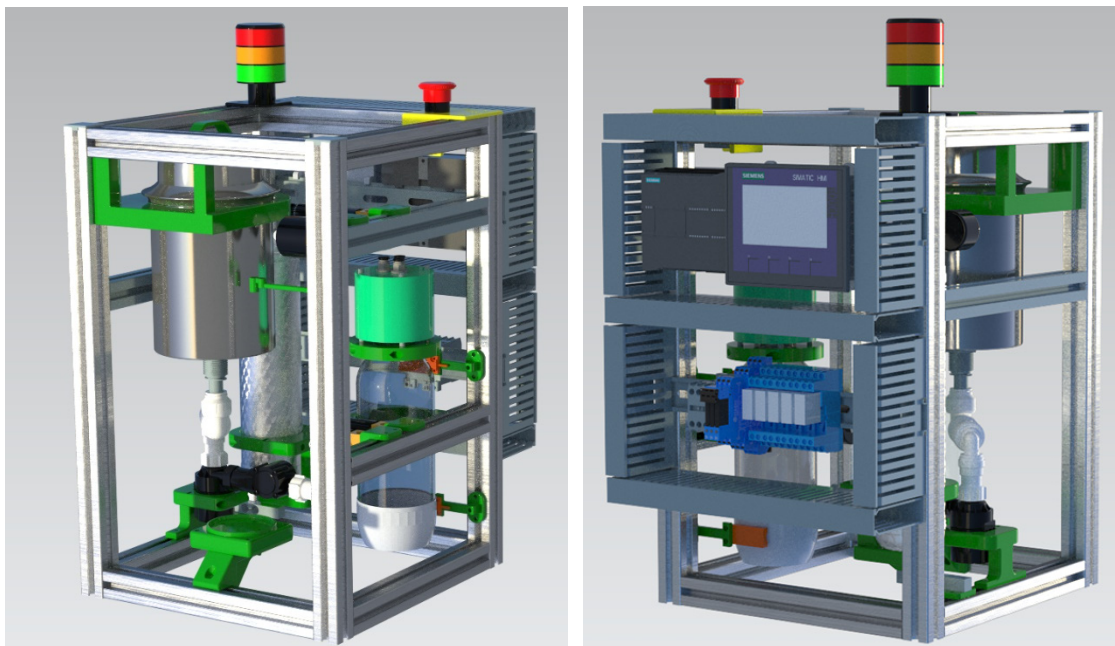
Postup realizace nelze generalizovat, neboť každá komponenta, z nichž se celek skládá, klade na výrobu specifické požadavky vyplývající z jejího individuálního charakteru. Pokud se jedná o spojový materiál, jakým jsou hliníkové profily, standardizované spojové šrouby nebo lišty pro vedení kabeláže, jsou tyto komponenty zakoupeny u externího dodavatele.

V případě komponent se specifickým designem na míru, jakým je například úchyt nerezové nádrže, nebo stojan pro tenzometrické měření tlakové bomby, je nejlepším řešením převedení vlastního návrhu komponenty do praxe pomocí 3D tisku. Bezespornými výhodami této realizace jsou výrobní cena, rychlost a při správném nastavení 3D tiskárny dostatečná pevnost a tuhost komponenty.

### **3.2 Vizualizace buňky pomocí programu Siemens NX12**

Na níže uvedeném Obr. 3.1 je digitální vizualizace buňky Sodovače. Její detailní zobrazení je následně umístěno v příloze 1 a v příloze 2. Návrh a popis jednotlivých komponent je uveden v následujících podkapitolách.

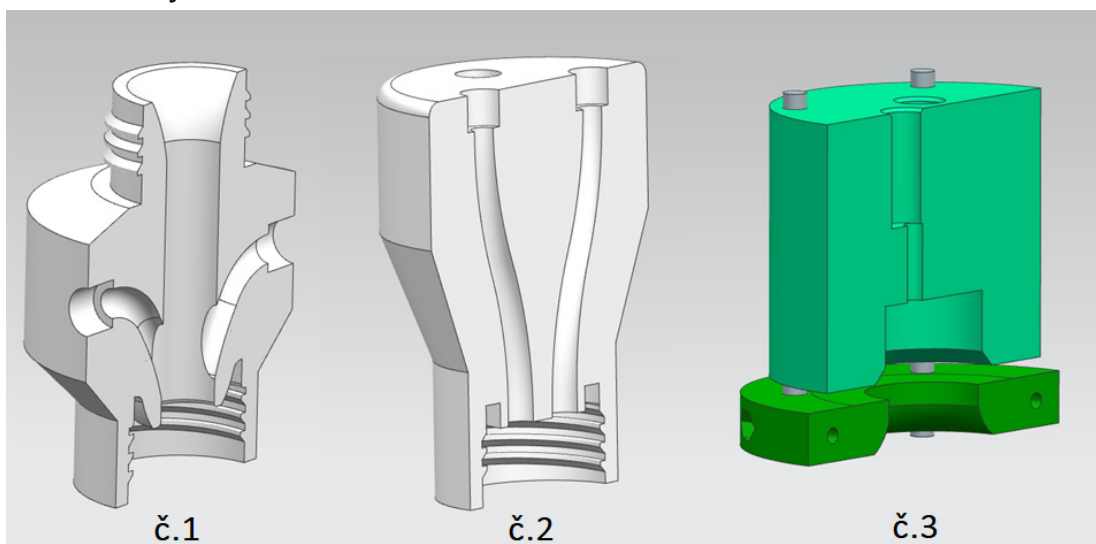




Obr. 3.1: 3D model buňky Sodovač

### 3.2.1 Tlaková spojka

Tlaková spojka je důležitým spojovacím prvkem mezi směšovacím kontejnerem a dalšími periferiemi, jako je například tlaková láhev, nebo nádrž s pitnou vodou. Je pevně připevněna ke směšovacímu kontejneru, který má v našem případě podobu běžně dostupné plastové jednodlitrové láhve Sodastream. Na uchycení láhve lze nahlédnout výše na Obr. 3.1.



Obr. 3.2: Řez tlakovými spojkami

Tlaková spojka od počátečního návrhu buňky prošla celkovým vývojem, kdy zatím byly vytvořeny tři různé návrhy. První dvě verze tlakové spojky byly navrženy



jako jednolitý kus a následně tisknuty na 3D tiskárně ze struny ze speciálního materiálu CPE. Třetí verze je tvořena ze dvou částí, přičemž její hlavní tlaková část je také tisknuta ze struny CPE a druhý upevňovací kus je následně tisknut z materiálu PLA.

Prioritní snahou při návrhu a tisku jednotlivých tlakových spojek bylo dosažení takových vlastností, které zaručí jejich pevnost a výdrž při namáhání vysokým tlakem.

První návrh lze vidět na Obr. 3.2 č.1. Jedná se o návrh, který funguje jako mezipoj na rozhraní směšovacího kontejneru a mechanického systému tlakování, který byl převzat z běžně dostupné dokovací stanice pro Sodastream. Předmětný návrh spojky obsahuje dva boční vstupy pro načerpání a vypouštění kapaliny. Tlakování mělo být zajištěno připojením mechanického systému pomocí hadice z horní části. Pro tuto spojku bylo nutné vytvořit nekonvenční vnější a vnitřní závit láhve Sodastream, aby nebylo třeba dalších podpůrných mechanismů k celkovému utěsnění na rozhraní spojů. Tato spojka nebyla využita z důvodu vývoje návrhu hydro-pneumatického systému, který pro svou funkčnost vyžadoval jiné konstrukční řešení tlakové spojky.

Na Obr. 3.2 č.2 vidíme řez druhým návrhem tlakové spojky. Lze na něm vidět tři ze čtyř kanálů, které vedou plyn, či kapalinu. Do každého kanálu je ze spodní strany umístěna plastová hadička o průměru 6 mm. Tyto hadičky jsou ve spojnici uchyceny zastrčením díky postupnému zmenšování průměru kanálu spojky. Hadičky uchycené ve spojnici jsou vedeny dolním hrdlem spojky až na dno směšovacího kontejneru. Na horní stěně tlakové spojky jsou vytvořeny rozšířené ústí jednotlivých kanálků pro možnost vyřezání závitů a umístění kovového šroubení pro připojení rozvodů hydro-pneumatického systému. Po provedení tlakových zkoušek nad tímto modelem spojky byly zjištěny nedokonalosti těsnění v oblasti šroubení v rozšířených ústích kanálků, v oblasti závitu a dále únik tlaku celým povrchem tlakové spojky.

Únik tlaku v oblasti šroubení byl nejspíše způsoben narušením materiálu v průběhu vytváření jednotlivých závitů. Netěsnost v oblasti závitu nebyla nijak zásadní a tento problém by mohl být odstraněn při volbě vhodnějšího těsnění. Zásadním problémem byl únik tlaku povrchem spojky, kdy se ve struktuře spojky v průběhu 3D tisku vytvořily mikro kanálky propojující vnější a vnitřní část spojky.

Řez třetím návrhem tlakové spojky je k nahlédnutí na Obr. 3.2 č.3. Spojka se skládá ze dvou dílů. Horní díl tvoří tlakovou část spojky. Jsou zde, stejně jako v předchozí verzi, rozšířená ústí kanálků pro připojení kovového šroubení hydro-pneumatického systému. V tomto případě jsou tu však vyvedeny pouze tři kanálky. Je tomu tak z důvodu lepšího utěsnění spojky, tedy menší pravděpodobnosti narušení stěn spojky při redukci počtu nutných šroubení a z důvodu prostorových

možností umístění daného šroubení. Spodní část je uzpůsobená pro připojení směšovacího kontejneru i bez šroubového závitu. Dolní díl je modelován v souvislosti s tvarem směšovacího kontejneru a má takový tvar, aby dokázal hrdlo kontejneru pevně sevřít. Po montáži dolního a horního dílu na směšovací kontejner jsou tyto části spojeny pomocí čtyř závitových tyčí a osmi šestihranných matic. Při jejich dostatečném utahnutí zajistíme utěsnění směšovacího kontejneru.

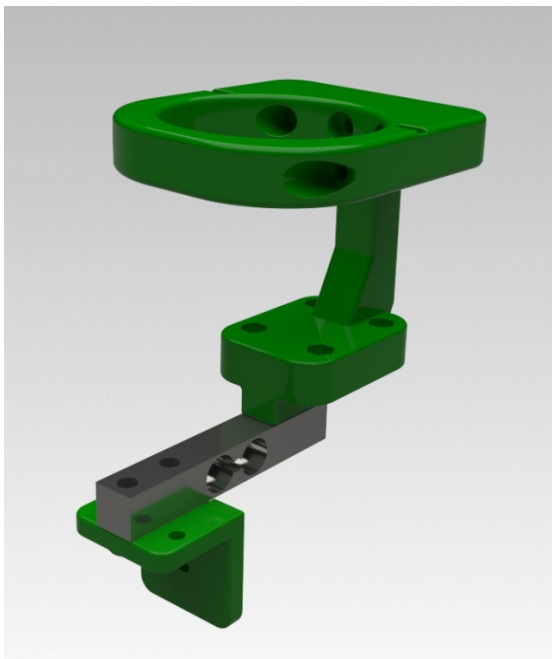
Horní díl třetího návrhu je záměrně modelován jako válec s přímo na sebe navazujícími nezahnutými kanálky. Je tomu tak z toho důvodu, že díl může být jednak vytištěn na 3D tiskárně, nebo pro dosažení lepších těsnících vlastností obroben z kulatiny.

Jak již bylo zmíněno výše, pro tlakovou zkoušku byl dolní díl vytištěn z materiálu PLA a horní díl z materiálu CPE. Pro tisk horního dílu byly speciálně nastaveny zesílené stěny, aby nedošlo k následnému poškození spojky při vytváření závitů pro kovové šroubení a aby byla zaručena její dostatečná tlaková odolnost.

Tato tlaková spojka vykazuje při praktickém použití dostatečnou tlakovou pevnost, je plně funkční a vyhovuje nárokům hydro-pneumatického systému buňky Sodovače.

### 3.2.2 Úchyt tlakové láhve a její vážení

Tlaková láhev v autonomní buňce Sodovače je klíčovou komponentou pro samotnou funkčnost této buňky. Je tedy nutné z dlouhodobého hlediska měřit její naplnění a kontrolovat, zda již není prázdná, a tedy zda ji není třeba pro správnou funkčnost buňky vyměnit. Elektrické zapojení pro toto měření lze nalézt v kapitole 5.2.7, programové zpracování naměřeného signálu se pak nachází v kapitole 6.5.

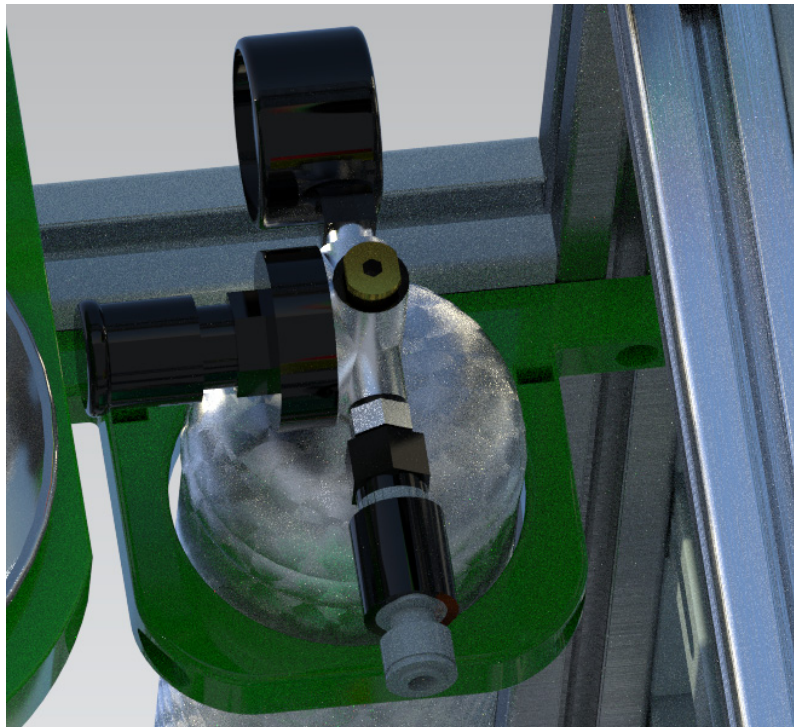


Obr. 3.3: Sestava pro tenzometrické měření hmotnosti tlakové láhve

Na konfiguraci upevnění láhve pro toto měření lze nahlédnout výše na Obr. 3.3. Měření objemu tlakové láhve je převedeno na měření její hmotnosti. Hmotnost tlakové láhve je měřena tenzometrem připevněným na deformačním členu, na kterém je tlaková láhev upevněna. Úchyt tlakové láhve je navržen takovým způsobem, aby celá váha láhve působila na konec deformačního členu a měření tak bylo co nejcitlivější.

Uchycení tlakové láhve na deformačním členu je provedeno u jejího dna. Toto řešení vychází z principu měření a prostorových možností, kterými jsme uvnitř buňky limitováni. Tento způsob uchycení má však za následek i nechtěný efekt, a to vznik torzních sil působících na deformační člen při dynamických pohybech s buňkou, tj. například přenášení buňky z místa na místo, neočekávaný náraz předmětu, či osoby do buňky a mnohé další případy. Toto dynamické torzní namáhání deformačního členu má za následek jeho postupnou destrukci, a tedy zkreslené a neplatné měření.

Z těchto důvodů má tlaková láhev druhé uchycení. Toto uchycení objímá celou horní část tlakové láhve po celém jejím obvodu s mezerou 2 mm mezi tímto horním uchycením a tlakovou láhví. Toto uchycení se při statickém uložení buňky nijak neprojevuje a neovlivňuje tak měření hmotnosti. V případě dynamického namáhání konstrukce buňky se o něj tlaková láhev opře a minimalizuje tak torzní namáhání deformačního členu.



**Obr. 3.4: Horní úchyt pro minimalizaci torzního namáhání deformačního členu**

### 3.2.3 Držadlo nerezové nádrže

Nerezová nádrž pro přísun pitné vody pro tvorbu sody je umístěna v horní části autonomní buňky, jak lze vidět vlevo na Obr. 3.1. Zde je zavěšena pomocí k tomu určenému držáku.

Odhadnutá maximální předpokládaná hmotnost nerezové nádrže naplněná pitnou vodou je cca  $M = 2,2\text{kg}$ , dle následujícího výpočtu:

$$d = 0,1265\text{mm} ; l = 0,1563\text{mm} ; \rho_{H_2O} = 0,998\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}(20^\circ\text{C}, 1\text{ atm})[14];$$

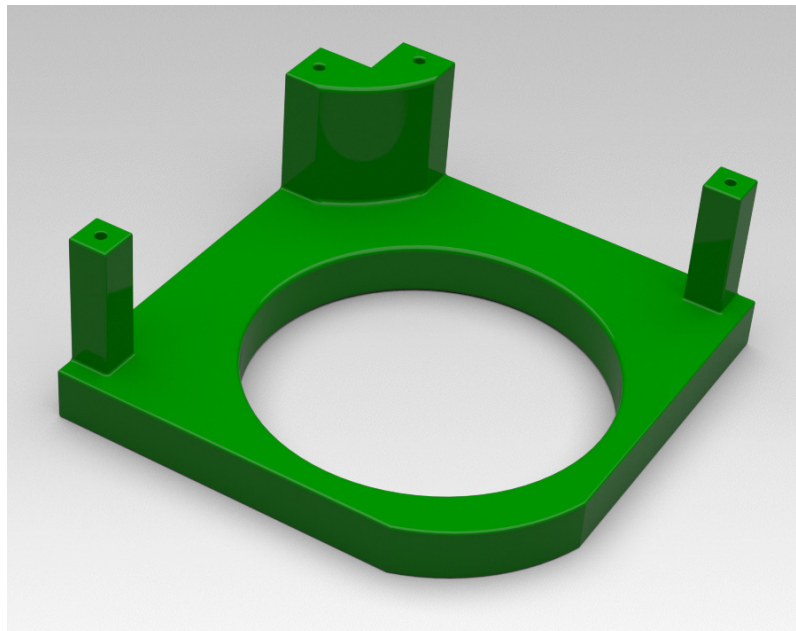
$$m_{Nerez} \approx 0,2\text{kg}$$

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot V = \rho_{H_2O} \cdot l \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (3.1)$$

$$m_{H_2O} = 998 \cdot 0,1563 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,1265}{2}\right)^2 = 1,96\text{ kg} \approx 2\text{kg}$$

$$M = m_{H_2O} + m_{Nerez} = 2,0 + 0,2 \approx 2,2\text{kg}$$

Kde  $M$  je celková hmotnost nádrže s vodou,  $m_{H_2O}$  je hmotnost pitné vody při  $20^\circ\text{C}$  a tlaku 1 atm,  $m_{Nerez}$  je zvažovaná hmotnost prázdné nerezové nádrže,  $\rho_{H_2O}$  je hustota vody při  $20^\circ\text{C}$  a tlaku 1 atm,  $V$  je objem nerezové nádrže,  $d$  je průměr dna, tedy maximální průměr vnitřku nerezové nádrže a  $l$  je výška ode dna nádrže po hranu uchycení nádrže.



Obr. 3.5: Držák nerezové nádrže

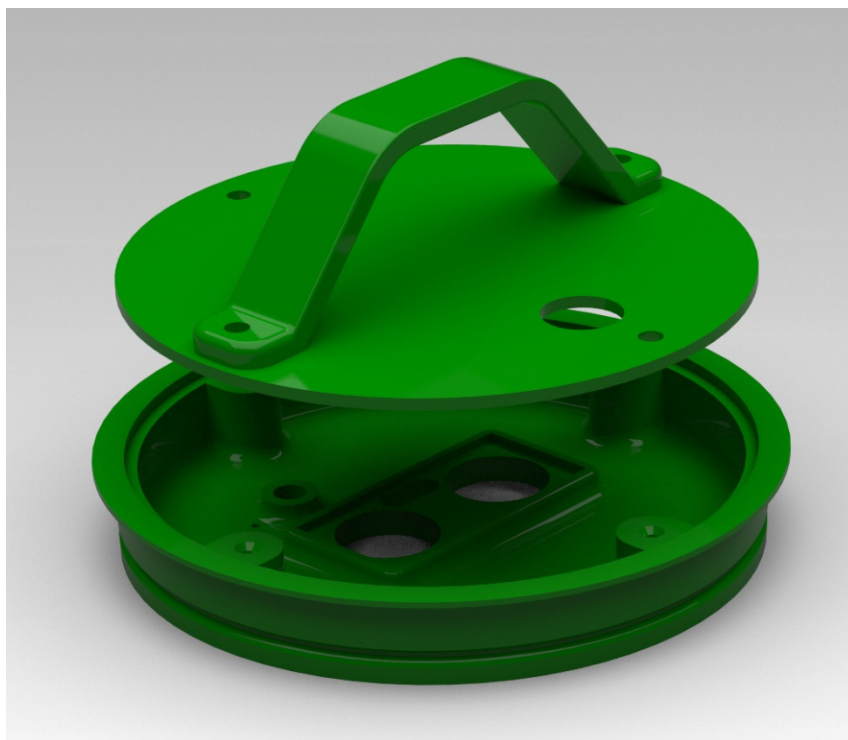
Vzhledem k maximální předpokládané hmotnosti z rovnice 3.1 byl držák navržen tak, aby objímal nerezovou nádrž po celém jejím obvodu a ke kostře

autonomní buňky byl přichycen čtyřmi body. Držák je navržen dostatečně masivně a tisknut s vysokým plněním uvnitř součásti, aby byla zaručena jeho dostatečná pevnost a on tak dokázal bezpečně nést celou váhu kontejneru i s maximálním naplněním pitnou vodou.

### 3.2.4 Kryt nerezové nádrže

Jak bylo již zmíněno výše, pitná voda je umístěna v nerezové nádrži, ze které je dále čerpána do směšovacího kontejneru pro tvorbu sody. Pro udržení čisté pitné vody v nerezové nádrži a k zabránění její kontaminace pevnými poléťavými částicemi, byl navržen odnímatelný horní kryt, který dostatečně těsně uzavírá hrdlo nádrže.

Kryt taktéž poskytuje možnost uložení ultrazvukového snímače vzdálenosti HY-SRF05 umístěním uvnitř krytu. Tato možnost měření objemu vody v nádrži však není využita, vzhledem k měření hladiny pomocí binárních plováčkových snímačů na dně nerezové nádrže.

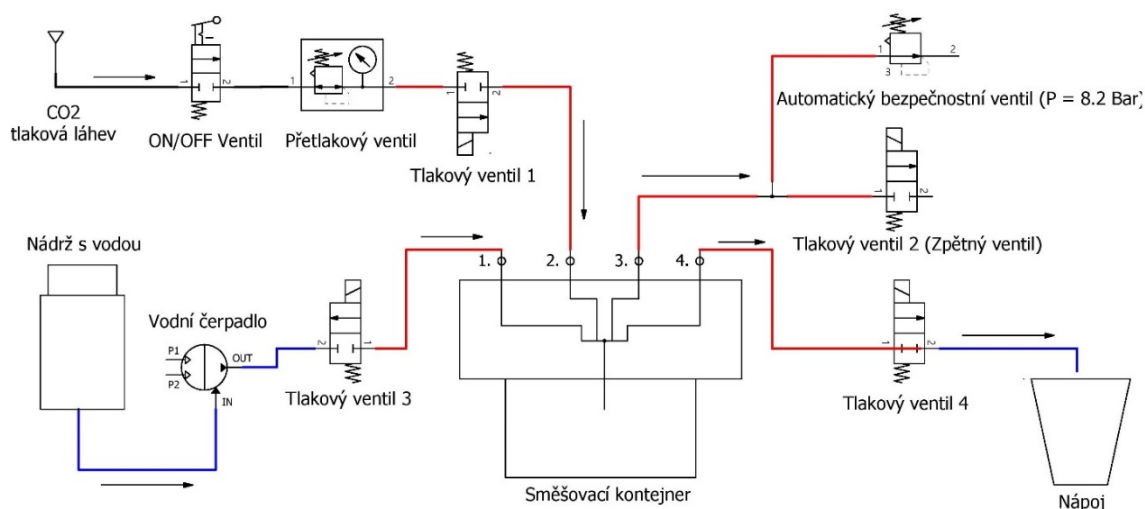


Obr. 3.6: Kryt nerezové nádrže

## 4 HYDRO-PNEUMATICKÉ ROZVODY BUŇKY

Pro fundamentální funkčnost buňky Sodovače bylo třeba navrhnout hydro-pneumatický systém zajišťující míchání stlačeného CO<sub>2</sub> s pitnou vodou, a tedy tvorbu požadovaného produktu autonomní buňky.

Při návrhu hydro-pneumatických rozvodů buňky byl kladen důraz na bezpečnost, funkčnost a jednoduchost, přičemž nejdůležitějším je první z jmenovaných kritérií.



Obr. 4.1: Hydro-pneumatické schéma

### 4.1 Popis zapojení

Hydro-pneumatické zapojení buňky lze vidět výše na Obr. 4.1, případně ve větší velikosti na konci dokumentu v příloze 5. Skládá se ze čtyř větví, přičemž každá má pro výrobu sody svůj specifický účel.

První větev je určena pro napouštění pitné vody do směšovacího kontejneru a obsahuje tedy nádrž s pitnou vodou, vodní čerpadlo a vysokotlakový ventil č.3. Typu tohoto ventilu je v celém zapojení použito celkem čtyřikrát. Jedná se o jednosměrný typ ventilu s maximálním rozdílovým tlakem 10 Barů. Ventil je dvoupolohový, tedy může být pouze otevřený, či zavřený. V případě, že na svorkách ventilu není připojeno napájení, nachází se ventil v zavřeném stavu (NC).

Větev číslo 2 je určena pro tlakování prostoru směšovacího kontejneru, v němž probíhá sodování pitné vody. Jako zdroj CO<sub>2</sub> je použita tlaková láhev WaterGas s připojeným přetlakovým ventilem s maximálním výstupním tlakem 10 Barů. Přetlakový ventil má manuální regulaci tlaku, tudíž je pracovní tlak ručně nastaven před uvedením buňky do provozu. Sodování v láhvi je řízeno ventilem č.1.



Dále bezpečnostní větev číslo 3, která obsahuje automatický pojistný ventil nastavený na mezní hodnotu 8,2 Baru. V případě překročení této hodnoty uvnitř směšovacího kontejneru začne ventil upouštět a tlak uvnitř dále neporoste. V této větvi je dále umístěn vratný ventil č. 2, pomocí kterého je tlak směšovacího kontejneru vyrovnáván s tlakem atmosférickým.

V neposlední řadě je součástí zapojení větev číslo 4, která obsahuje tlakový ventil č.4 a výpust hotové sody do skleničky.

Na schématu jsou taktéž naznačeny směry proudění, jak kapaliny, tak plynu. Platí, že ve větvích, kde se objevuje modrá barva, proudí pitná voda. Červená barva pak značí, že se v dané větvi může vyskytovat plyn s diferenčním tlakem vůči atmosférickému tlaku o hodnotách 0 až 8,2 Baru.

## 4.2 Proces výroby sody

Proces výroby sody a dodání jejího určitého množství do skleničky začíná v momentě, kdy je na autonomní buňce požádáno obsloužení dané skleničky. Tímto procesním řízením, jeho rozhodováním a hierarchií se dále zabývá kapitola 6 - Programové vybavení buňky. Zde je popsán celý proces výroby sody z hlediska funkce hydro-pneumatického zapojení autonomní buňky.

Výchozí podmínky procesu jsou takové, že nádrž na vodu je naplněná, směšovací kontejner je prázdný, přičemž tlak uvnitř něj má hodnotu tlaku atmosférického. Přetlakový ventil je otevřený na hodnotu 2-6 Baru, všechny tlakové ventily jsou zavřené a vodní čerpadlo je zastaveno.

V první fázi plnění je pitná voda přečerpána z nerezové nádrže do směšovacího kontejneru. Toho se docílí během vodního čerpadla a otevřeným ventilem č. 3. Po naplnění kontejneru do jeho plného stavu je motor zastaven a ventil č. 3 uzavřen.

Při druhé – sodovací fázi je otevřen ventil č. 1 a dochází k natlakování směšovacího kontejneru a k sycení vody. Následně je ventil č. 1 uzavřen a otevírá se ventil č. 2 a dochází k dekompresi směšovacího kontejneru. Tento cyklus je celkově proveden třikrát za účelem vytvoření kvalitní sody. Po této fázi je kontejner naplněn sodou připravenou k výdeji do skleničky a zároveň je v bezpečném nenatlakovaném stavu.

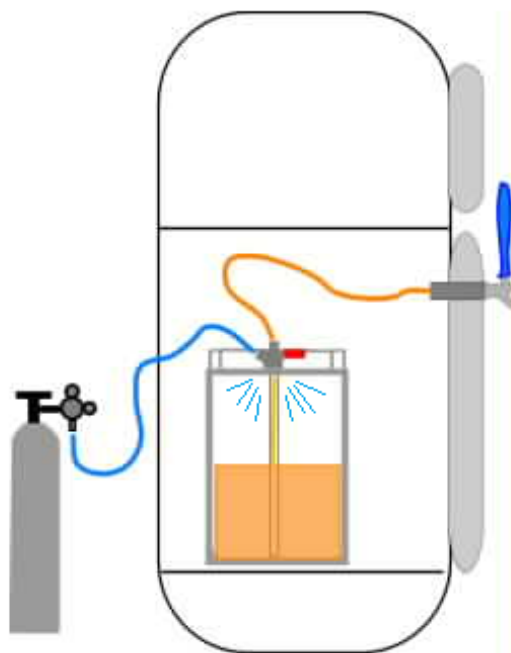
Při výdejní fázi je požadované množství hotové sody přečerpáváno do skleničky. Toho je docíleno pomocí otevření ventilu č. 1 a ventilu č. 4 současně. Takto nastavená konfigurace systému má za následek to, že se směšovací kontejner začne chovat jako píst. Po otevření ventilu č.1  $\text{CO}_2$  z tlakové láhve vytváří ve směšovacím kontejneru přetlak a kapalina je následně z důvodu diferencí tlaků vytlačena přes ventil č. 4, přes který je kontejner spojen s vnějším prostředím o nižším atmosférickém tlaku. Po načerpání požadovaného množství jsou ventily č.1

a č.4 uzavřeny a je provedena bezpečnostní dekomprese pomocí ventilu č. 2, vzhledem k možnému reziduálnímu rozdílu tlaků.

### 4.3 Princip hydromechaniky výdejní fáze

Jak bylo zmíněno výše v kapitole 4.2, princip výdejní fáze je založen na diferenci tlaků. Tato technika je dnes běžně používána ve výčepních zařízeních využívajících speciálních Keg sudů.

Keg sudy jsou speciální válcové nádoby vyráběné z nerezové oceli, moderní sudy jsou navíc opláštěny izolací. Princip funkce lze vidět na Obr. 4.2. Uprostřed vrchní stěny sudu se nachází ventil, pro připojení výčepní armatury, která má vstup pro hnací plyn z externího zásobníku a výstup do výčepní stolice, pípy. Hnací plyn vytváří v keg sudu přetlak vůči vnější atmosféře, který následně vytlačí kapalinu ze sudu do výčepní stolice. Jako hnací plyny se běžně používá stlačený CO<sub>2</sub> nebo dusík. [15]



Obr. 4.2: Princip funkce výčepu s Keg sudem [16]

Sud si lze přitom představit jako píst, ve kterém se při otevření výčepní stolice začne plyn rozpínat a tlačít tak na hladinu kapaliny uvnitř sudu, čímž ji vytlačuje ven.

### 4.4 Reálná funkčnost výroby sody

Po reálném zapojení systému a jeho odzkoušení bylo zjištěno, že výše popsaným principem výroby lze vytvořit plně hodnotný produkt v podobě sody. Taktéž plnění skleničky sodou na bázi přetlaku v podobě CO<sub>2</sub>, jak bývá běžně používáno

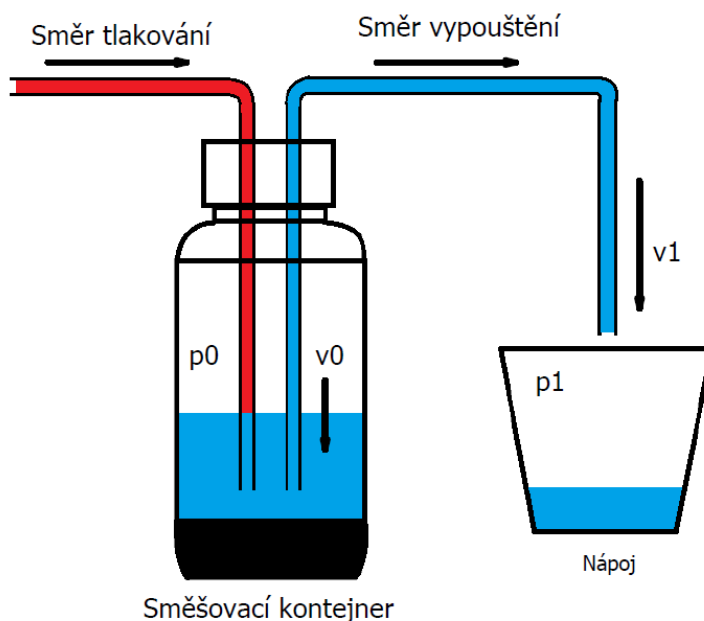


u výčepních zařízení, funguje velmi dobře a systém, pokud je to po něm požadováno, dokáže bez problémů naplnit plnou skleničku pro tlak 2-6 Baru v řádu několika sekund.

Pro plnění skleničky byl taktéž experimentálně použit jiný postup. Spočíval v tom, že na začátku výdejní fáze byl směšovací kontejner nejdříve natlakován pomocí ventilu č.1, následně byl tento ventil uzavřen a pro výdej byl otevřen pouze ventil č. 3.

Nevýhodou tohoto postupu je skutečnost, že neustálým tlakováním sody v uzavřeném kontejneru dochází k jejímu přesycování, a tedy ke zhoršování kvality konečného produktu, který má být předložen zákazníkovi.

Další zásadní nevýhodou tohoto postupu je nelinearita výtokové rychlosti kapaliny v závislosti na měnící se diferenci tlaků. Tento jev lze vysvětlit na základě Bernoulliho rovnice. Na Obr. 4.3 lze vidět principové schéma pro vypouštění vody z tanku. Z něj lze uvažovat následující:



Obr. 4.3: Schéma principu vypouštění kapaliny

Pro výpočet rychlosti kapaliny ve směru vypouštění budeme vycházet z mechaniky kapalin, a tedy Bernoulliho rovnice 4.1 [14], která vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění kapaliny. Uplatníme následující formu, která platí v tíhovém poli země:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p + \rho \cdot g \cdot h = konst. \quad (4.1)$$

Kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $v$  je rychlost proudící kapaliny,  $p$  je tlak v kapalině,  $g$  je tíhové zrychlení na povrchu Země a  $h$  je výška hladiny.

Pro případ z Obr. 4.3 uvažujme následující hodnoty:

$$p_0 = 6 \text{ Bar} = 600 \text{ kPa} ; p_1 = p_a = 101,325 \text{ kPa} [14];$$

$$\rho_{H_2O} = 0,998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} (20^\circ \text{C}, 1 \text{ atm}) [14]$$

Kde  $p_0$  je tlak plně natlakované láhve,  $p_1$  je tlak vnějšího prostředí, tedy atmosférický tlak,  $\rho_{H_2O}$  je hustota vody při teplotě  $20^\circ \text{C}$  a tlaku 1 atm.

Dále pro tento případ uvažujme následující zjednodušení výpočtu. Zanedbejme potenciální energii kapaliny v hadičce, přičemž rozdíly výšek hladiny nádrže a výšky hadičky a průřez samotné hadičky jsou velmi malé. Potom platí následující výpočet 4.2:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_0^2 + p_0 + \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h_0 &= \frac{1}{2} \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_1^2 + p_1 + \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h_1 \\ \frac{1}{2} \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_0^2 + p_0 &= \frac{1}{2} \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_1^2 + p_1 \\ v_1^2 &= \frac{2 \cdot (p_0 - p_1)}{\rho_{H_2O}} + v_0^2 \\ v_1 &= \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_1)}{\rho_{H_2O}}} + v_0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Pokud budeme dále uvažovat, že rychlost klesání hladiny  $v_0$  je mnohem menší než rychlost výtoku kapaliny do skleničky, tedy že  $v_0 \ll v_1$  můžeme vzorec dále upravit na finální tvar 4.3:

$$v_1 \approx \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_1)}{\rho_{H_2O}}} \quad (4.3)$$

Dále hustotu vody můžeme uvažovat jako konstantu, a tedy z rovnice 4.3 vychází, že rychlost výtoku kapaliny je přímo úměrná odmocnině z rozdílu tlaků:

$$v_1 \sim \sqrt{(p_0 - p_1)} = \sqrt{\Delta p} \quad (4.4)$$

Z této úměrnosti (4.4) je jasné vidět, že pokud bychom použili postup vypouštění kapaliny založený principu nejdříve natlakované nádrže, následnému uzavření tlakování a otevření vypouštění, výsledkem bude nelineárně snižující se rychlost výtoku. Proto byla použita metoda neustálého otevření tlakové a vypouštěcí větve, kdy systém operuje s konstantní tlakovou diferencí  $\Delta p$  a tudíž výsledná rychlost výtoku je takřka konstantní.

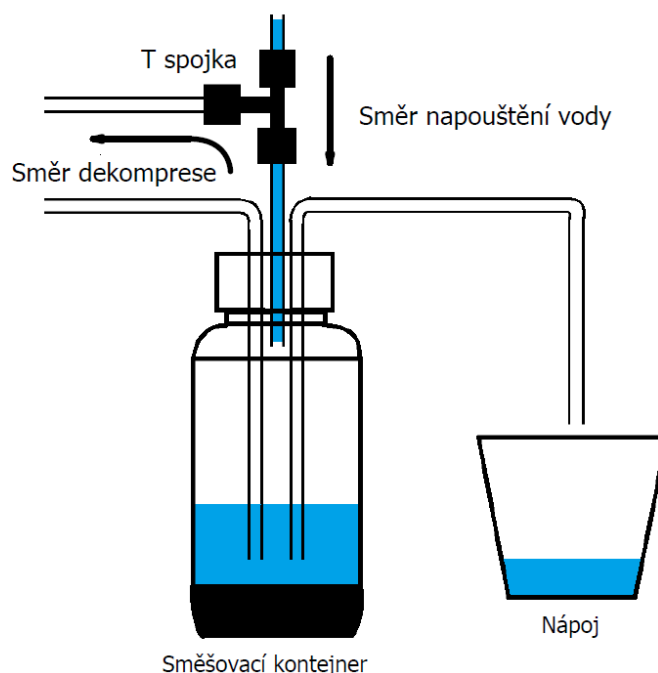
## 4.5 Optimalizace rozvodných větví

V rámci vývoje tlakové spojky pro směšovací kontejner, o kterých můžete nalézt více informací v kapitole 3.2.1, a její optimalizaci za účelem co nejlepšího tlakového utěsnění bylo nutné zvážit, zda by některé ze čtyř rozvodných větví na schématu z Obr. 4.1 nešlo sloučit a minimalizovat tak počet vstupů do tlakové spojky.

Z kombinace Obr. 4.1 a Obr. 4.3 lze usoudit, že optimální funkčnost Sodovače zaručíme jen tak, že větve číslo 2 a 4 budou rozděleny a jejich přívodní hadice budou vyvedeny na dno směšovacího kontejneru. Jediným možným krokem, jež nepovede k narušení funkčnosti zařízení je tedy sloučení větve číslo 1 a 3. K tomuto kroku můžeme přistoupit na základě předpokladu, že přívod čerpání vody do kontejneru může být vyveden v kterékoliv jeho části, a tedy i v části horní, kde se nachází ústí větve pro dekompresi kontejneru. Propojení zmiňovaných větví docílíme pomocí dodatečné T spojky.

Řešení takto spojených větví má však jednu nevýhodu. Po přečerpání vody z nerezové nádrže do kontejneru může totiž nastat situace, kdy se voda dostane i do rozvodů, přes které bude docházet k dekompresi. Následně při upouštění tlaku ze směšovacího kontejneru může dojít k vyčerpání tohoto pozůstatku pitné vody z dekompresního vedení.

Tento nepříznivý jev lze eliminovat správným natočením T spojky tak, aby se co nejméně kapaliny dostalo do odvodušňovací větve (Obr. 4.4). Následně je umístěna pod dekompresním ventilem výlevka, která případnou vyčerpanou vodu odvede do připraveného kanálku.



Obr. 4.4: Natočení T spojky pro napouštění pitné vody

## 5 ELEKTRICKÉ ROZVODY BUŇKY

Každá autonomní buňka je připojená na rozvod elektrické energie z hlavního rozvaděče. Tento rozvod je několikažilový a je zde vedeno jak signální, tak silové vedení.

K buňce jsou tedy z rozvaděče dovedeny dále uvedené žíly. Zemní vodič (zeleno-žlutý vodič, zeleno-žlutá svorka), silové napájení 5 V (oranžový vodič, oranžová svorka), signálové napájení 12 V (zelený vodič, světle modrá svorka), signálové napájení 24 V (fialový vodič, fialová svorka), silové napájení 12 V (žlutý vodič, šedá svorka), silové napájení 24 V (červený vodič, červená svorka) a nulový vodič M (modrý vodič, modrá svorka).

### 5.1 Zemnění buňky a jednotlivých prvků

Celá kostra buňky, řídicí PLC a HMI panel jsou uzemněny. Kostra buňky je tvořená hliníkovými profily, které jsou propojeny zemními propojkami. Kostra včetně DIN lišt je následně spojena se zemním vodičem pomocí speciální zemní svorky pro DIN lišty. PLC a HMI panel jsou uzemněny pomocí vodičů propojující výrobcem k tomu určenými kontakty a zemní svorku.

### 5.2 Zapojení jednotlivých prvků

Elektrické dokumentace lokálního rozvaděče autonomní buňky Sodovače je k nahlédnutí níže v příloze 6 až 11. Toto elektrické schéma bylo vytvořeno v elektrickém CAD prostředí WSCAD Suite X. Je zde přehledně popsáno kompletní elektrické zapojení buňky rozvaděče, tedy propojení řídicí logiky, jednotlivých snímačů, akčních členů a bezpečnostní obvody připojující silovou část elektrického napájení buňky.

#### 5.2.1 PLC Siemens SIMATIC S7-1214C DC/DC/DC

PLC je napájeno signálovým napájením 24 V. K řízení buňky PLC využívá 14 digitálních vstupů, 2 analogové vstupy a 10 digitálních výstupů.

K digitálním vstupním pinům PLC jsou připojeny indikace poruchových stavů a binární snímače, které jsou popsány v kapitole 5.2.6 níže.

Signalizace havarijního stop stavu je připojena na digitálním vstupu I0.0, kterým se indikuje zmáčknutí STOP tlačítka umístěného v horní části buňky. Pokud je vše v pořádku, na vstupním pinu do PLC je logická jedna. Pokud je zmáčknuté STOP tlačítko na vstupu se objeví logická nula a je zahlášen stop stav.

Digitálním vstupem I0.1 se indukuje výpadek silového napájení. Pokud dojde k výpadku nejméně jednoho silového napájení, objeví se na vstupu logická 0 a buňka

je tak informována, že nemůže ovládat akční členy. V opačném případě je na vstupu hlášena logická 1.

V případě buňky Sodovače je využit pouze jeden analogový vstup pro tenzometrické měření hmotnosti, jehož zapojení je podrobněji probráno níže v kapitole 5.2.7.

Jednotlivé digitální výstupy PLC jsou připojeny na oddělovací relé, které následně ovládají jednotlivé akční členy.

Komunikace s PLC je zajištěna propojením se switchem Linksys SD205 pomocí kabelu UTP CAT 5.

### 5.2.2 HMI KTP400 Basic

HMI panel je napájen signálovým napájením 24 V. Dále je HMI panel propojen se switchem Linksys SD205 pomocí kabelu UTP CAT 5.

### 5.2.3 Linksys SD205

Switch – síťový přepínač – Linksys SD205 umožňuje komunikaci PLC SIMATIC S7-1200, HMI panelu. Fyzická propojení jsou provedena pomocí kabelu UTP CAT 5. Samotný Linksys SD205 je napájen signálovým napájením 12 V.

### 5.2.4 Stykač EATON DILEM-10

Přes stykač EATON DILEM-10 je vedeno veškeré silové napájení pro buňku, včetně signálového napájení 24 V. Stykač v tomto zapojení plní ochrannou funkci, tedy při stisknutí tlačítka STOP stykač odpojí buňku od silového napájení. Taktéž je, díky tomuto zapojení, tato událost zhlášena na digitálním vstupu PLC.

### 5.2.5 Akční členy

Akčními členy použitými v autonomní buňce jsou čtyři vysokotlaké ventily a vodní čerpadlo. Všechny akční členy jsou ovládány pomocí PLC od něhož jsou galvanicky odděleny pomocí jednotlivých relé.

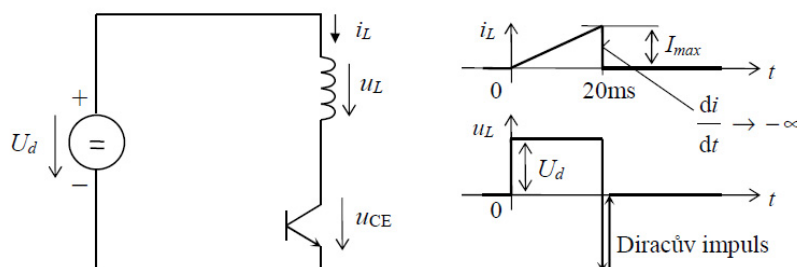
Tlakové ventily jsou napájeny silovými 12 V. Jejich ovládání je založeno na spínání masivních cívek s nemalou indukčností. Z níže popsaného principu je nutné při spínání těchto ventilů zařadit do obvodu ochranu před napěťovými překmitými vznikajícími při přerušení napájení této indukční zátěže.

Napětí a proud cívky lze vyjádřit následujícími vztahy 5.1 [17]:

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad ; \quad i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt + I_0 \quad (5.1-1,2)$$

Kde  $u_L$  je napětí na cívce,  $L$  je indukčnost cívky,  $\frac{di_L}{dt}$  je derivace proudu procházejícího cívkou podle času.

Podle Obr. 5.1 uvažujme následující případ ze skript, kdy všechny obvodové prvky jsou ideální a bezztrátové [17]:



**Obr. 5.1: Připojení indukčnosti k napěťovému zdroji přes spínač [17]**

Vstupní údaje příkladu jsou:

$U_d = 12 \text{ V}$  ;  $L = 10 \text{ mH}$  ; Tranzistor sepne v čase  $t = 0 \text{ s}$  a vypne v čase  $t = 20 \text{ ms}$ . V čase  $t = 0 \text{ s}$  cívkou neteče proud, tedy  $I_0 = 0 \text{ A}$  . Pro proud protékající cívkou platí následující rovnice 5.2:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt + I_0 = \frac{1}{L} \int U_d dt = \frac{U_d}{L} t = 1200 t \quad (5.2)$$

V čase  $t = 20 \text{ ms}$  proud dosáhne hodnoty  $I_{MAX}$  dle rovnice 5.3:

$$I_{MAX} = 1200 \cdot t = 1200 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 24 \text{ A} \quad (5.3)$$

Spínací prvek je ideální, tedy má nulovou vypínací dobu  $t_{off}$ . Proud při vypnutí klesá a strmost je tedy záporná:

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{i(20 \text{ ms})}{t_{off}} = -\frac{I_{MAX}}{t_{off}} = \frac{24}{0} \rightarrow (-\infty) \text{ A/s} \quad (5.4)$$

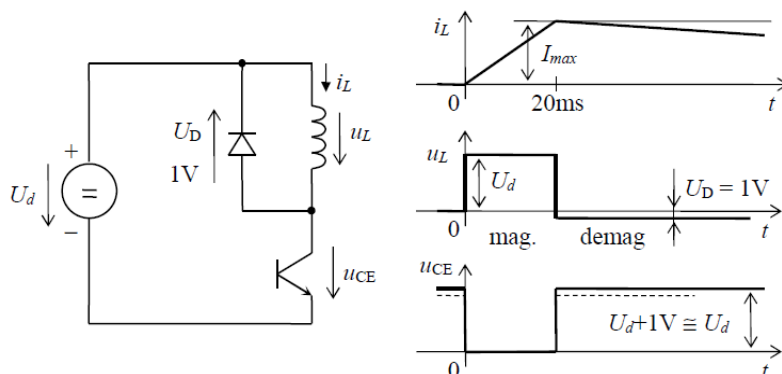
V okamžiku vypnutí bude tedy podle rovnice 5.4 a 5.5 na indukčnosti napětí, které má tvar Diracova impulsu, viz průběhy podle Obr. 5.1:

$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = L \cdot (-\infty) \rightarrow (-\infty) \text{ V} \quad (5.5)$$

Toto je důkaz, že při spínání indukčních zátěží je nutné obvod ošetřit vzhledem k nechtěným vysokonapěťovým překmitům. Jedno z možných řešení je zařadit do obvodu zpětnou nulovou demagnetizační diodu.

Při ošetření obvodu demagnetizační diodou, jak je tomu podle příkladu na Obr. 5.2 může proud po vypnutí spínače dále téct obvodem. Místo klasické voltampérové charakteristiky diody lze v tomto případě uvažovat její pravoúhlou náhradu s prahovým napětím  $U_D = 1 \text{ V}$ . Na diodě tedy vznikne úbytek napětí 1V, pro všechny proudy které jí protékají, jak je uvedeno v příkladu na Obr. 5.2. Toto napětí je připojeno na svorky cívky a je z jejího pohledu záporné. Proud má díky

tomuto napětí sestupnou tendenci a energie uložená v magnetickém poli cívky se na demagnetizační diodě postupně přemění na Joulovo teplo. Jak lze vidět z průběhů napětí na indukčnosti na Obr. 5.2 k žádným nechtěným vysokonapětovým překmitům nedochází.



**Obr. 5.2: Indukčnost ošetřená nulovou diodou [17]**

Toto řešení bylo použito i v případě tlakových ventilů, kdy ke každému vinutí byla dopájena paralelně demagnetizační dioda.

Vodní čerpadlo je napájeno silovými 24 V. Indukčnost vinutí motoru čerpadla je nevýznamná a z tohoto důvodu zde demagnetizační dioda zařazena není.

## 5.2.6 Binární snímače

Jak již bylo zmíněno, buňka Sodovač využívá především binární snímače připojené k digitálním vstupům PLC. Jsou to dva plovákové snímače pro nádrž s pitnou vodou, dále dva kapacitní snímače IFM KQ5100 pro snímání hladiny ve směšovacím kontejneru, jejichž citlivost byla externě nastavená přes IFM IO-link master a software LR Device. Dále jsou použity dva lopatkové průtokoměry s Halloovou sondou YF-S201 a YF-S402B, přičemž jejichž pulzy jsou přímo úměrné proteklému objemu kapaliny.

## 5.2.7 Tenzometrické měření hmotnosti

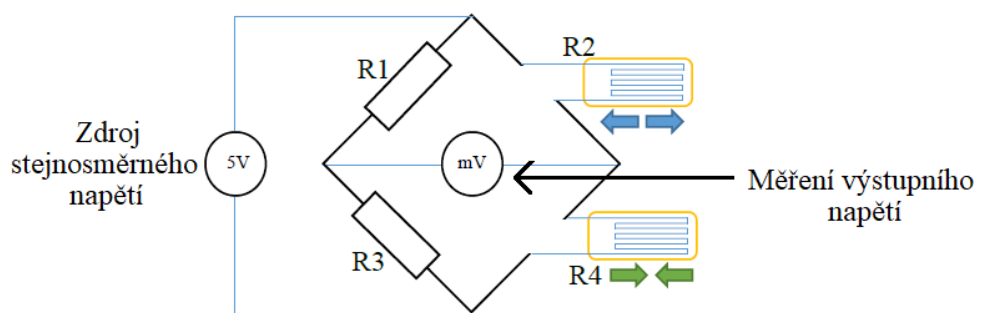
Jediné analogové měření, které buňka Sodovač zpracovává, je měření hmotnosti tlakové láhve s CO<sub>2</sub> pomocí tenzometru. Konstrukční řešení pro toto měření lze nalézt v kapitole 3.2.2, programové zpracování naměřeného signálu se pak nachází v kapitole 6.5.

Tenzometr je senzor určený k měření povrchového napětí materiálu, s nímž je pevně spojen. K měření povrchového napětí se využívá změna průřezu u elektrického vodiče, jež je současně s povrchem materiálu deformován. Odpor  $R [\Omega]$  každého vodiče je závislý na jeho průřezu  $S [mm^2]$ , délce  $l [m]$  a měrném odporu  $\rho [\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}]$  [18]:

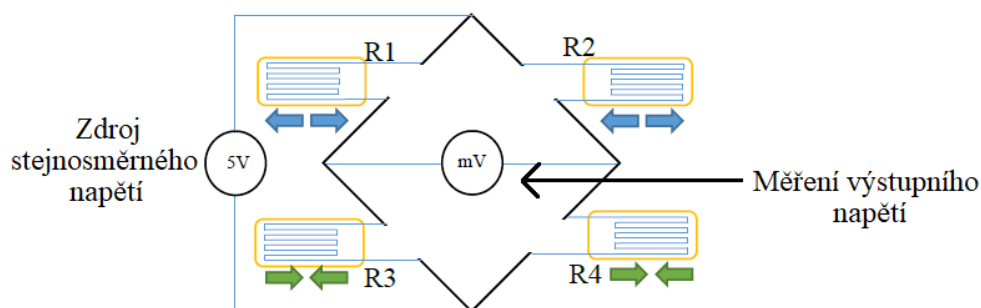
$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (5.6)$$

Deformace vodiče spojeného s materiálem zapříčiní změnu jeho odporu, která je měřitelná a umožňuje vytvoření převodníku mezi elektrickým napětím a povrchovým napětím materiálu. V kombinaci s vhodným deformačním členem lze pomocí povrchového napětí měřit sílu vyvíjená na deformační člen a následně tedy i hmotnost. [18]

Zapojení tenzometrů je nejčastěji provedeno do tzv. Wheatstonova můstku. V praxi se nejčastěji používají zapojení polovičního nebo plného můstku, která lze vidět na Obr. 5.3 [18]



a) Poloviční tenzometrický můstek



b) Plný tenzometrický můstek - s teplotní kompenzací

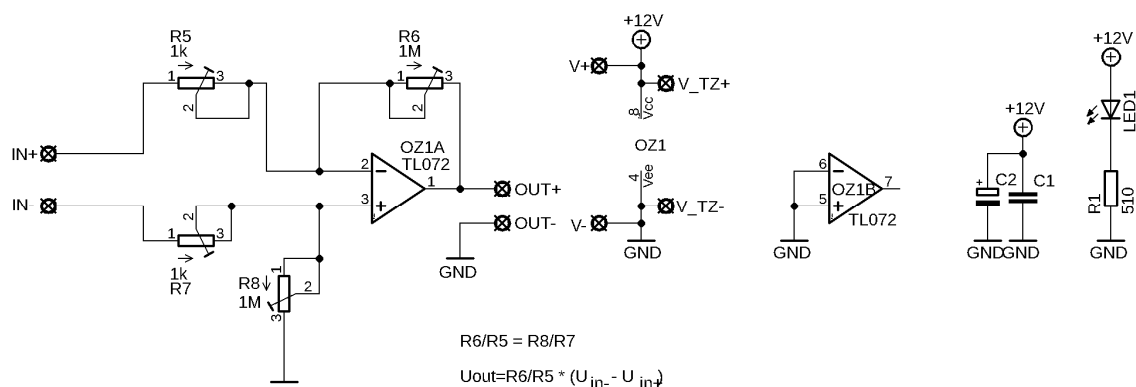
Obr. 5.3a: Poloviční, Obr. 5.4b: Plné zapojení Wheatstonova můstku [18]

Mnou použitý snímač, jehož deformační člen lze vidět v rámci konstrukčního návrhu úchytu tlakové láhve na Obr. 3.3, s největší pravděpodobností používá jedno ze zmíněných zapojení můstku, které je již integrováno na deformačním členu. Výrobce snímače v dokumentaci neuvádí typ zapojení můstku. Výstupní napěťový signál je v jednotkách mV a pro měření tohoto signálu pomocí PLC je tato hodnota příliš malá. Proto je nutné použít napěťový zesilovač, který výstup z můstku tenzometru zesílí na jednotky voltů (pro naše měření 0-10 V). Tento signál jsme již pomocí analogového vstupu PLC schopni změřit a dále vyhodnotit. [19]

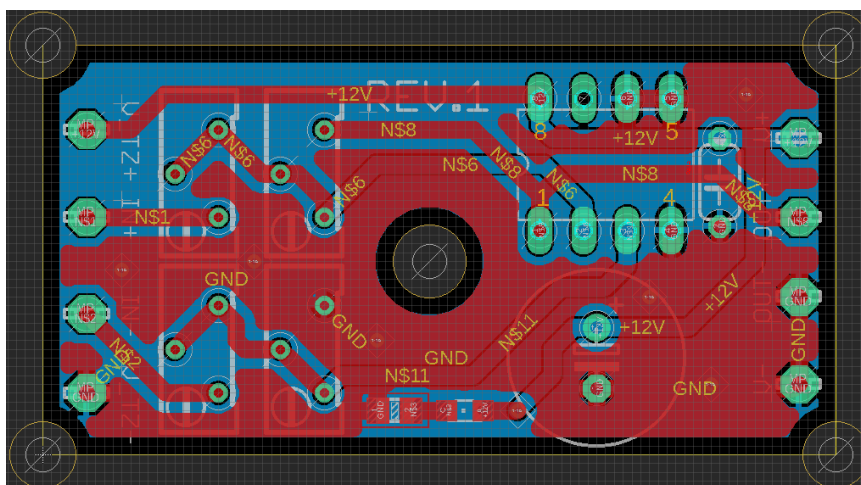
Zapojení zesilovače pro tenzometrické měření je uvedeno na Obr. 5.5. Jedná se o přepracovaný návrh obvodu, který byl převzat z diplomové práce Ing. Podrabského [19]. Předmětné zapojení je postaveno kolem operačního



zesilovače TL072. Zapojení vyhodnocuje rozdíl mezi napětími  $U_{in+}$  a  $U_{in-}$ , které jsou ze snímače vyvedeny. Obvod byl vzhledem k původnímu návrhu přepracován. Byly odňaty pevně instalované rezistory a zachovány zůstaly pouze odporové trimry pro libovolné nastavení požadovaného napěťového zesílení obvodu. K pinům napájení obvodu byly následně přidány dva blokovací kondenzátory a LED indikace napájení. Následně byla z celého zapojení vytvořena dvouvrstvá DPS, kterou lze vidět na Obr. 5.6.



**Obr. 5.5: Upravené schéma napěťového zesilovače [19]**



**Obr. 5.6: DPS napěťového zesilovače**

Aby zesilovač správně fungoval, tedy zesiloval pouze rozdíl napětí  $U_{IN+}$  a  $U_{IN-}$ , musí nastavení odporových trimrů vyhovovat následující rovnosti 5.7 [19]:

$$\frac{R_6}{R_5} = \frac{R_8}{R_7} \quad (5.7)$$

Potom bude mít napětí  $U_{OUT}$  připojené do PLC hodnotu podle následujícího vzorce 5.8 [19]:

$$U_{OUT} = \frac{R_6}{R_5} (U_{IN-} - U_{IN+}) \quad (5.8)$$

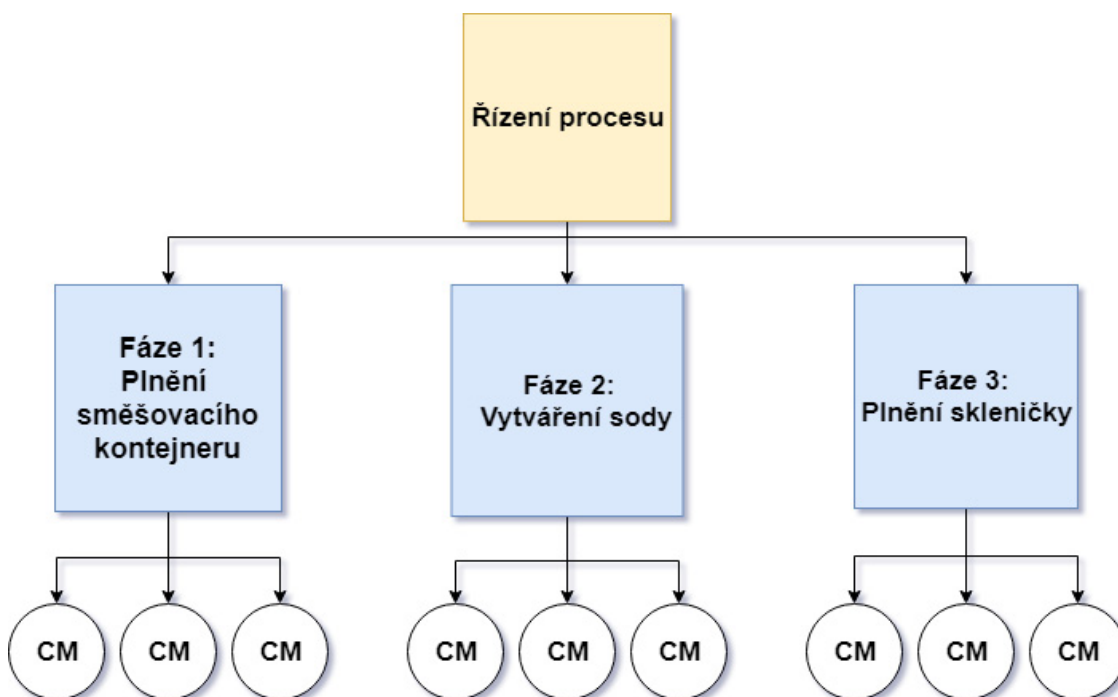
## 6 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ BUŇKY

Program pro řízení celé buňky je vytvořen za pomoci softwaru TIA Portal V14. Program je hierarchicky rozdělen a obsahuje manuální ovládání jednotlivých prvků v buňce a taktéž plně automatické řízení procesu, které je přizpůsobeno pro budoucí zakomponování do programového vybavení testbedu pro Průmysl 4.0.

Všechny zdrojové kódy a kompletní projekt buňky Sodovače v TIA Portal V14 jsou k nahlédnutí na příloženém CD.

### 6.1 Hierarchie programu

Na následujícím Obr. 6.1 je znázorněn princip rozvržení programu pro PLC. Celý problém procesního řízení buňky je postupně fragmentován do jednotlivých subproblémů až po nejnižší fyzickou vrstvu.



Obr. 6.1: Hierarchie programu v PLC

Program je rozdělen do tří vrstev. Nejnižší vrstva obsahuje tzv. control modules (řídící moduly), tedy jednotlivé komponenty v buňce jako jsou tlakové ventily, průtokoměry, směšovací kontejner a další. Tyto moduly obsahují příkazy k ovládání těchto komponent, informace o jejich aktuálních stavech a poruchách. Dobrým příkladem control modulu může být ventil, který chceme otevřít či zavřít. Chceme vědět, v jakém stavu se právě nachází, jestli jej vůbec můžeme ovládat, tedy jestli je připojeno silové napájení atd.

Střední vrstva programu je tvořena tzv. fázemi. Fáze řeší již komplexnější problém jako například plnění směšovacího kontejneru vodou. Každá fáze v sobě sjednocuje několik control modulů. Tyto moduly jsou ovládány pomocí stavového automatu, který tvoří logiku každé fáze.

Nejvyšší vrstva řízení procesu rozhoduje o tom, které všechny fáze musí být vykonány, aby bylo možné vydat do výrobku požadované množství sody. Tedy pokud má buňka Sodovač ve směšovacím kontejneru dostatek vyrobené sody pro skleničku, která si o dané množství zažádala, provede se pouze třetí fáze plnění skleničky. Pokud ovšem není dostatek sody skladem, provedou se postupně všechny tři fáze v jejich číslovaném pořadí.

Aby modul v nadřazené vrstvě mohl plnohodnotně fungovat, musí být všechny v hierarchii nižší moduly, které využívá, v automatickém režimu. Je tomu tak s ohledem na bezpečnou funkci Sodovače při kombinaci jeho automatického řízení a operátorské obsluhy. Toto hierarchické řízení buňky je nutné pro bezproblémové začlenění buňky Sodovače do testbedu.

## 6.2 Komunikační rozhraní programu

Výše popsaná hierarchie programu byla zvolena z vícero důvodů. Nejenom, že zaručuje jeho přehlednost, ale hlavně autonomní buňce zprostředkovává komunikační rozhraní mezi autonomní buňkou a ostatními zařízeními v testbedu.

Autonomní buňka je popsána datovou strukturou, která je složena z UDT jednotlivých control modulů, fází a řízení procesu. Příklad takového UDT je uveden na Obr. 6.2.

Valve		
	Name	Data type
	▶ Cmd	Struct
	▶ State	Struct
	▶ Param	Struct

Obr. 6.2: UDT tlakového ventilu

Pomocí takto postavené datové struktury se k autonomní buňce můžeme chovat jako k objektu a skrze předávaná data můžeme buňku jednoduše parametrizovat, ovládat a také vyhodnocovat její aktuální stav. Taktéž si díky této struktuře může jakékoliv zařízení v testbedu zjistit její aktuální stav – například zda je buňka k dispozici, nebo zda má dostatečné prostředky na výrobu sody.

Díky takto navrženému rozhraní je autonomní buňka připravena na implementaci do testbedu, kdy je možné jednoduše nakonfigurovat všechny její parametry i v nejnižších vrstvách jako jsou jednotlivé control moduly. Dále je možné jednoduše spustit výrobu sody, přičemž vše co potřebuje autonomní buňka znát, je

jestli je sklenička přítomna, kolik již v ní je obsaženo tekutiny a kolik je třeba načerpat sody.

### 6.3 Procesní popis výroby sody

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.1, je celý cyklus výroby sody tvořen třemi po sobě jdoucími fázemi, jimiž jsou naplnění směšovacího kontejneru pitnou vodou, vytvoření sody z pitné vody a následné vyčerpání požadovaného množství do sklenice.

Cílem první fáze je načerpat vodu do směšovacího kontejneru. Toho je dosaženo spuštěním vodního čerpadla. Následně je třeba tři sekundy vyčkat, než dojde k otevření tlakového ventilu, který umožní průtok vody do směšovacího kontejneru. Latence mezi spuštěním čerpadla a otevřením ventilu je zvolena vzhledem k umístění průtokoměru mezi tyto komponenty do napouštěcí větve, a tedy nutnosti zavodnit trubici vodního rozvodu. Tímto eliminujeme vznik turbulencí při následném proudění kapaliny a dosáhneme tak průtokoměrem přesnějšího měření. Dále je voda čerpána tak dlouho, dokud není směšovací kontejner plný nebo není vyprázdněna nádrž na pitnou vodu. Během čerpání vody je taktéž každých 15 sekund ventil vodního přívodu zavřen a otevřen dekompresní ventil. Vyrovnání tlaku s okolním prostředím je nutné z hlediska čerpadla, které tak nemusí svou silou překonávat zvyšující se tlak v kontejneru.

Druhá fáze vytváří ve směšovacím kontejneru sodu z načerpané pitné vody. Podmínkou pro spuštění druhé fáze je připravenost tlakové bomby, tedy že je bomba přítomna, připravená tlakovat a má nastavený přetlakový ventil na vhodnou tlakovou hodnotu. Nejdříve se uzavrou všechny ventily. Následně je na 8 sekund otevřen tlakovací ventil, tím vpustíme plyn do směšovacího kontejneru a vytvoříme přetlak. Po uplynutí zvolené časové latence je tlakovací ventil zavřen a následně je po dobu tří sekund otevřen ventil dekompresní. Tím se tlaky s okolním prostředím opět vyrovnají. Tento cyklus je proveden celkově třikrát, přičemž po jeho dokončení je ve směšovacím kontejneru vytvořena plnohodnotná soda a kontejner má stejnou hodnotu tlaku jako okolní prostředí.

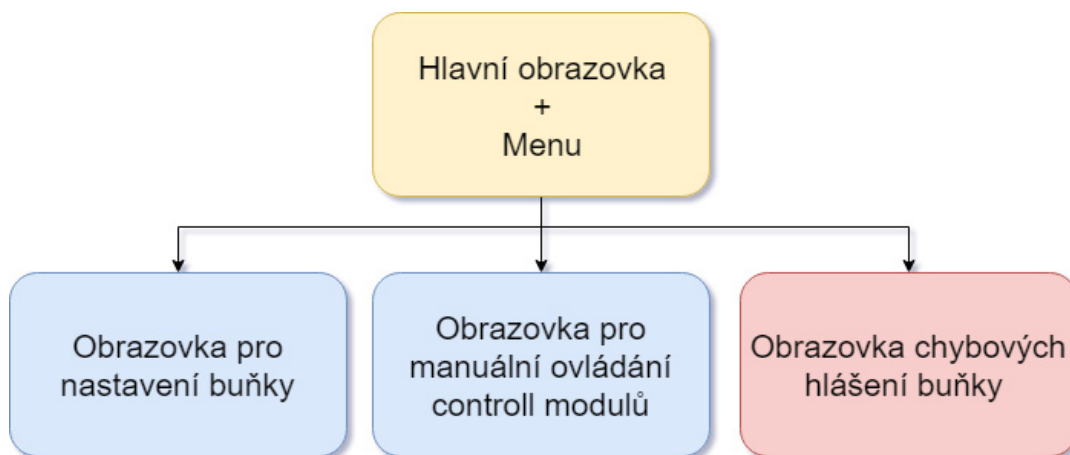
Pro poslední třetí fázi je potřeba mít ve směšovacím kontejneru dostatek sody, o kterou si sklenička zažádá. Není-li tomu tak, je nutné pro spuštění třetí fáze vykonat fáze dvě předchozí v jejich stanoveném pořadí.

Pokud je podmínka splněna, tedy buňka dokáže zaručit dodání požadovaného množství sody a sklenička nepožaduje větší množství, než by se do ní vešlo, jsou nejdříve uzavřeny všechny ventily. Následně jsou zároveň otevřeny tlakovací a výpustní ventil. Pomocí stlačeného plynu je soda ze směšovacího kontejneru vytlačována do skleničky. Množství protečené sody je zaznamenáváno pomocí průtokoměru. Po protečení požadovaného množství jsou oba ventily

zavřeny a následně je zaznamenáno skutečné množství sody vyčerpané do skleničky.

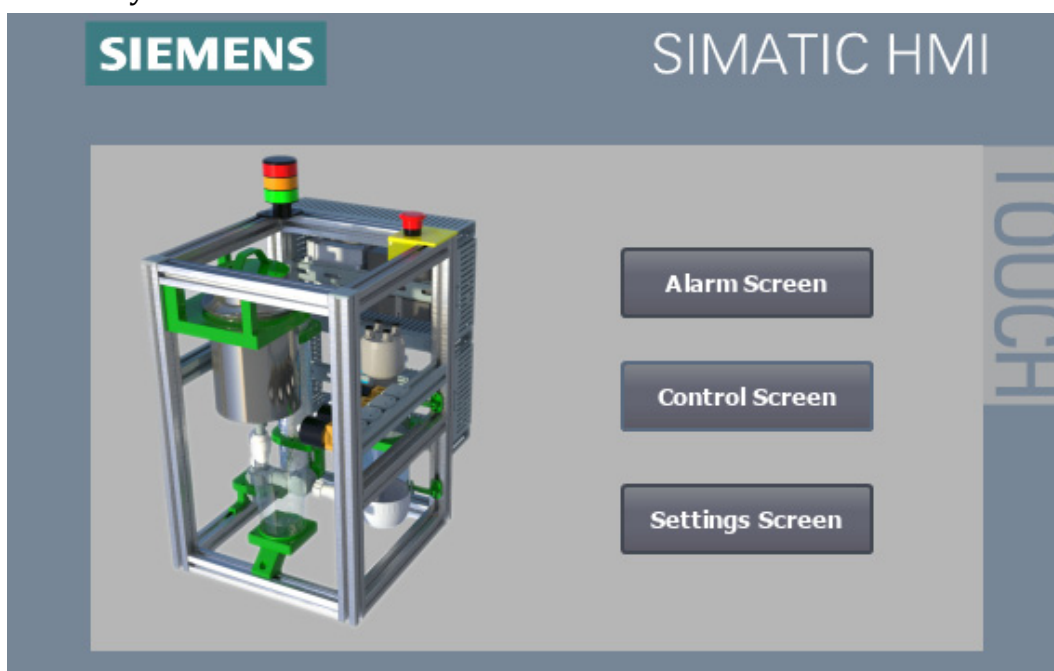
## 6.4 Vizualizace pro HMI KTP400

Vizualizace pro panel HMI má čtyři obrazovky. Jejich rozvržení lze vidět na následujícím diagramu na Obr. 6.3.



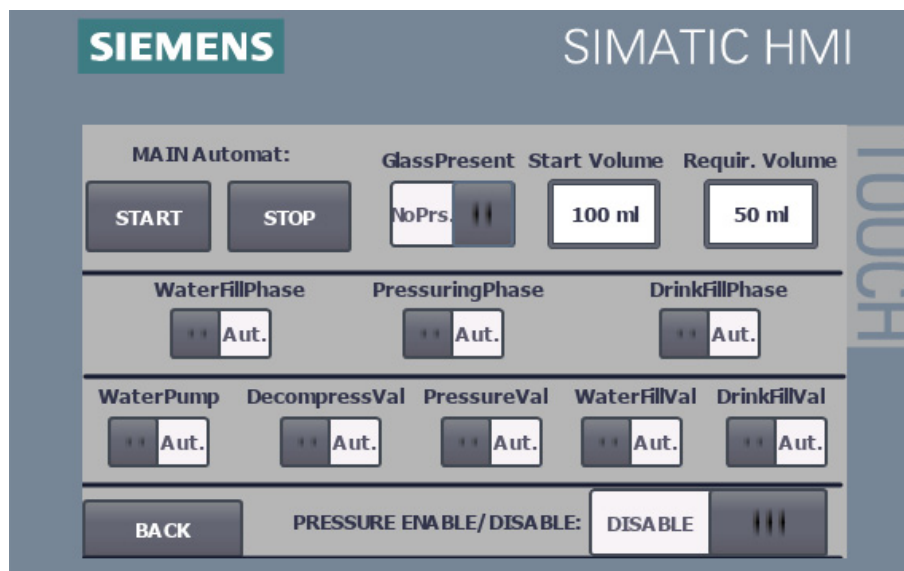
Obr. 6.3: Hierarchie obrazovek pro HMI panel

Hlavní a taktéž úvodní obrazovka má hlavně vizuální funkci (Obr. 6.4). Pro estetičnost obsahuje obrázek autonomní buňky Sodovače. Funkce úvodní obrazovky spočívá v tom, že v její pravé části lze nalézt navigační menu dalších obrazovkových submodulů.



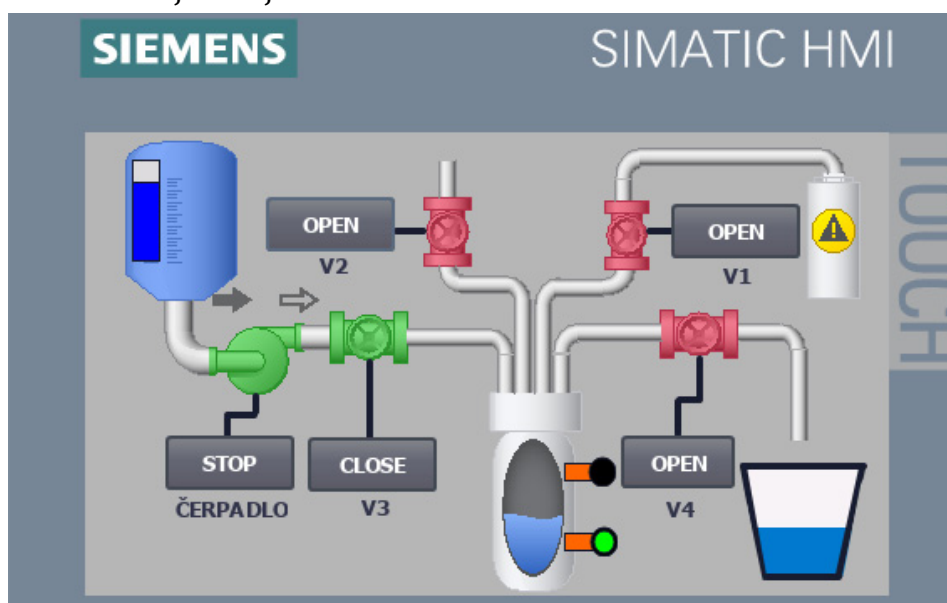
Obr. 6.4: Úvodní obrazovka HMI

První modul, na který se lze z hlavního menu odkázat, je obrazovka s nastavením buňky (Obr. 6.5). Nachází se zde přepínání manuálního a automatického režimu jednotlivých control modulů, fází procesu a dále spouštění celého procesu.



Obr. 6.5: HMI obrazovka pro nastavení buňky

Další obrazovka je určena pro manuální ovládání jednotlivých control modulů. Její rozvržení lze vidět na následujícím Obr. 6.6. Obrazovka má podobu technologického schématu. Operátor tak snadno může vyvodit, které moduly v buňce ovládá a v jakém jsou aktuálně stavu.



Obr. 6.6: HMI obrazovka pro ovládání CM

Poslední obrazovka obsahuje tabulku pro záznam a zobrazení chybových hlášení buňky Sodovače.

Mezi jednotlivými obrazovkami může být také přepínáno za pomoci čtyř fyzických tlačítek umístěných v dolní části HMI panelu. Každé tlačítko reprezentuje v tomto případě jednu obrazovku.

## **6.5 Analogové zpracování hodnoty**

Jediné analogové měření, které buňka Sodovač zpracovává, je měření hmotnosti tlakové láhve s CO<sub>2</sub> pomocí tenzometru. Konstrukční řešení pro toto měření lze nalézt v kapitole 3.2.2, popis elektrické zapojení nalezneme v kapitole 5.2.7.

V případě buňky Sodovače, je nutné pomocí tohoto měření vyhodnotit, zda již tlaková láhev není vyprázdněna. Nezajímá nás tedy její průběžná hmotnost, ale pouze pokles její hmotnosti pod určitou hodnotu.

V reálné situaci to tedy znamená, že pokud vstupní analogový signál z napěťového zesilovače snímače hmotnosti klesne pod určitou hranici, která mnou byla předem zvolena jako mezní, program tuto situaci vyhodnotí a následně zahlásí havarijní stav prázdné tlakové láhve.

Hodnota pro mezní hranici analogového signálu, při kterém je již daná tlaková láhev považována za prázdnou, musí být zjištěna empiricky, tedy s prázdnou láhví a následným měřením hraničního signálu a jeho hodnoty.

## 7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabýval kompletním návrhem a realizací autonomní buňky Sodovače pro testbed Průmyslu 4.0, automatizovaného barmana.

V první kapitole této práce bylo uvedeno seznámení se s koncepcí samotného testbedu a byla zde uvedena bližší souvislost testbedu s principy samotného Průmyslu 4.0. Dále zde byla podrobně probrána myšlenka a možnost realizace samotné autonomní buňky pro tento testbed. Byl zde také popsán princip komunikace výrobku s autonomní buňkou, postup při návrhu jednotlivých konstrukčních řešení a návrh vhodných snímačů a akčních členů pro danou aplikaci. Taktéž byla diskutována kritéria pro návrh programového vybavení, vzhledem k budoucímu připojení autonomní buňky do zkušebního zařízení Průmyslu 4.0. V neposlední řadě zde byla zmíněna důležitá softwarová prostředí pro vývoj autonomní buňky.

Následující kapitola (Kapitola 3) obsahovala konstrukční návrh autonomní buňky. Byl zde popsán přístup ke konstrukci a její realizaci. Dále zde byly rozebrány jednotlivé komponenty, zdůvodnění stylu návrhu a jejich praktické využití. Aktuální 3D model autonomní buňky a její jednotlivé části jsou dostupné na přiloženém CD ve formátu (.prt) pro CAD NX12. Rendrovaný náhled na něj se nachází v příloze 1 a v příloze 2.

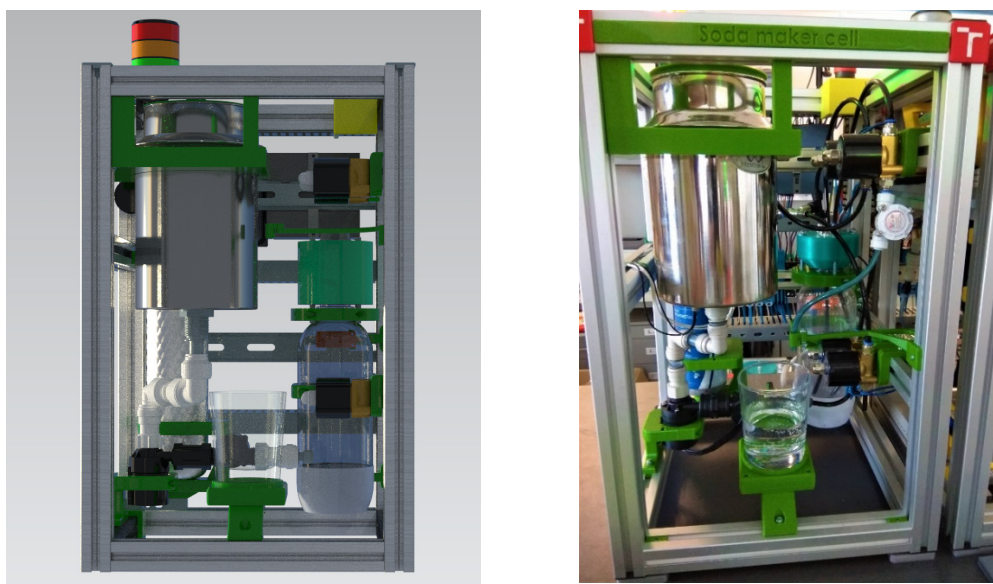
Kapitola 4 se zabývala návrhem hydro-pneumatického systému pro výrobu sody. Bylo zde komentováno schéma v souvislosti s fyzickou funkcí zapojení a procesní výrobou sody. Kapitola se dále zabývala principem výdeje produktu do sklenice na základě diferencí tlaků, reálnými výsledky a optimalizací zapojení. Na hydro-pneumatické schéma lze nahlédnout v příloze 5.

Pátá kapitola v pořadí se věnovala elektrickému zapojení lokálního rozvaděče pro autonomní buňku a zapojení jednotlivých komponent v autonomní buňce. Pro toto zapojení byla vytvořena kompletní dokumentace v programu WSCAD, kterou lze nalézt v příloze 6 až 11. Následně bylo toto zapojení realizováno, vyzkušeno a zprovozněno. Dále byla pro potřeby měření hmotnosti tlakové láhve navržena deska plošných spojů v programu Eagle Autodesk. Problematika tohoto měření byla dále podrobněji probrána z hlediska konstrukčního, elektrického a programového návrhu v tomto pořadí v kapitolách 3.2.2, 5.2.7 a 6.5.

Poslední kapitola popisovala řídicí program autonomní buňky pro PLC, který byl vytvořen v prostředí TIA Portal V14. Byla zde popsána jeho hierarchie, která byla vytvořena pro lepší přehlednost a návaznost při budoucí integraci buňky do testbedu. Dále byl popsán stavový postup výroby sody a následně hierarchie obrazovek vizualizace pro HMI panel.



Výsledkem této bakalářské práce je autonomní buňka Sodovač, pro kterou jsem vytvořil kompletní konstrukční návrh a sestavil ji. Navrhl jsem kompletní hydro-pneumatické a elektrické schémata, dle kterých jsem rozvody fyzicky realizoval. Buňce jsem dodal programové vybavení v podobě řídicího programu a vizualizace pro HMI panel. Buňka Sodovač dokáže automaticky vytvořit sodu a načerpat požadované množství sody do sklenice. Její současný stav v porovnání s jejím 3D modelem lze vidět na následujícím Obr. 7.1, případně pro větší zobrazení v příloze 1 až 4.



**Obr. 7.1: Současný stav reálné buňky a jejího modelu**

Další vývoj Sodovače si klade za cíl doplnit buňku o drobné konstrukční prvky, jako je například perlátor pro výpust sody. Po dodání DPS napěťového zesilovače od výrobce by mělo dále dojít k implementaci tenzometrického měření v buňce a následnému zapojení buňky do testbedu tak, aby plnila svou autonomní funkci.

Veškerá dokumentace k buňce Sodovač je nahrána na CD, jež je k této práci přiloženo. Obsahuje všechny navržené díly pro buňku, 3D sestavu buňky, pneumatické schéma, kompletní elektrickou dokumentaci projektu včetně návrhu DPS a kompletní projekt se zdrojovými kódy programového vybavení buňky.

# Literatura

- [1] KACZMARCZYK, Václav, Ondřej BAŠTÁN, Zdeněk BRADÁČ a Jakub ARM. An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design [online] 2018, 8 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318309108>
- [2] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR. Iniciativa Průmysl 4.0 [online] 2016, 233 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [3] GREENWOOD, N. N. a A. EARNSHAW. *Chemistry of the elements*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c1997. ISBN 0-7506-3365-4.
- [4] HORČIN, Vojtech a Vladimír VIETORIS. *Technológia výroby nealkoholických nápojov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2007. ISBN 978-80-8069-882-9.
- [5] ASHURST, P. R. *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices*. Third edition. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2016. ISBN 9781444333817.
- [6] KOŽÍŠEK, František. Účinky vody s oxidem uhličitým na lidské zdraví [online]. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 2003 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bv\\_co2.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bv_co2.pdf)
- [7] NX. *Sova Digital* [online] Bratislava SOVA Digital 2014 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://sova.sk/produkty/nx/>
- [8] NX 12 Release Notes [online]. Siemens AG, 2017 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/docs/nx/12/en\\_US/release\\_notes.pdf](https://docs.plm.automation.siemens.com/docs/nx/12/en_US/release_notes.pdf)
- [9] *Ten good reasons-WSCAD* [online]. WSCAD, 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.wscad.com/en/ten-reasons/>
- [10] *Electrical Engineering – WSCAD, 2019* [online]. WSCAD [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.wscad.com/en/electrical-engineering/>
- [11] *System Requirements – WSCAD, 2019* [online]. WSCAD [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.wscad.com/en/system-requirements/>

- [12] Siemens CZ [online] Totally Integrated Automation Portal [cit. 2018-05-01]  
Dostupné z:  
<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=2416f2e791&ctxp=home>
- [13] Delivery Release for WinCC V14 SP1. Siemens Industry Online Support Product Support [online]. Siemens, 2017 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z:  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109745460/delivery-release-for-wincc-v14-sp1?dti=0&lc=en-WW>
- [14] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, DUB, Petr, ed. *Fyzika*. 2., přeprac. vyd. Přeložil Miroslav ČERNÝ. Brno: VUTIUM, 2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [15] BRYAN, Reed A. *Keg cooler and dispensing bar unit*. U.S. Patent No 2,792,692, 1957.
- [16] STANLEY, Jeff. Drafts Dispensing Page [online]. [cit. 2019-04-28].  
Dostupné z: <http://www.angelfire.com/ks2/beer/homekeg.html>
- [17] PATOČKA, Miroslav. *Sbírka řešených příkladů z výkonové elektroniky*. Brno: VUT, 2014. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií – Vysoké učení technické v Brně.
- [18] VŠB – Technická univerzita Ostrava [online] EMvM – Experimentální metody v mechanice 2016/17 – cvičení 3+4 – zapojení odporových tenzometrů [cit. 2018-05-01] Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~sof007/files/EMvM/cviceni-3+4.pdf>
- [19] PODRABSKÝ, T. Návrh, simulace a realizace funkčních modulů testbedu Průmysl 4.0. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

# Seznam symbolů, veličin a zkratek

## Zkratky:

R/W	-	Read/Write; Čtení/zápis – zařízení, které umí komunikovat oběma směry
PLC	-	Programovatelný logický automat
HMI	-	Human machine interface – Rozhraní mezi operátorem a řídicím systémem
HSC	-	High-speed counter – vysokorychlostní čítač
NFC	-	Near field communication – technologie pro radiovou bezdrátovou komunikaci
CAD	-	Computer aided design – počítačem podporované projektování
CAE	-	Computer aided engineering – počítačem podporovaná inženýrská analýza
CAM	-	Computer aided manufacturing – počítačem podporované obrábění
CMM	-	Coordinate measuring machine – Souřadnicové měřicí stroje
CNC	-	Computer Numeric Control – číslicové řízení obráběcích strojů počítačem
NC	-	Normally closed – za normálního stavu zavřený
DPS	-	Deska plošných spojů
CM	-	Control modules – řídicí moduly
PLM	-	Product lifecycle management – Řízení životního cyklu výrobku
RAM	-	Random access memory – v tomto případě hlavní operační paměť výpočetní stanice
CPU	-	Centrální procesorová jednotka

SCADA	-	Supervisory control and data acquisition – dispečerské řízení a sběr dat
CPE	-	Co-polyester – Kopolyester
PLA	-	polylactic acid – polymléčná kyselina
UDT	-	User-defined data type – uživatelem definovaný datový typ

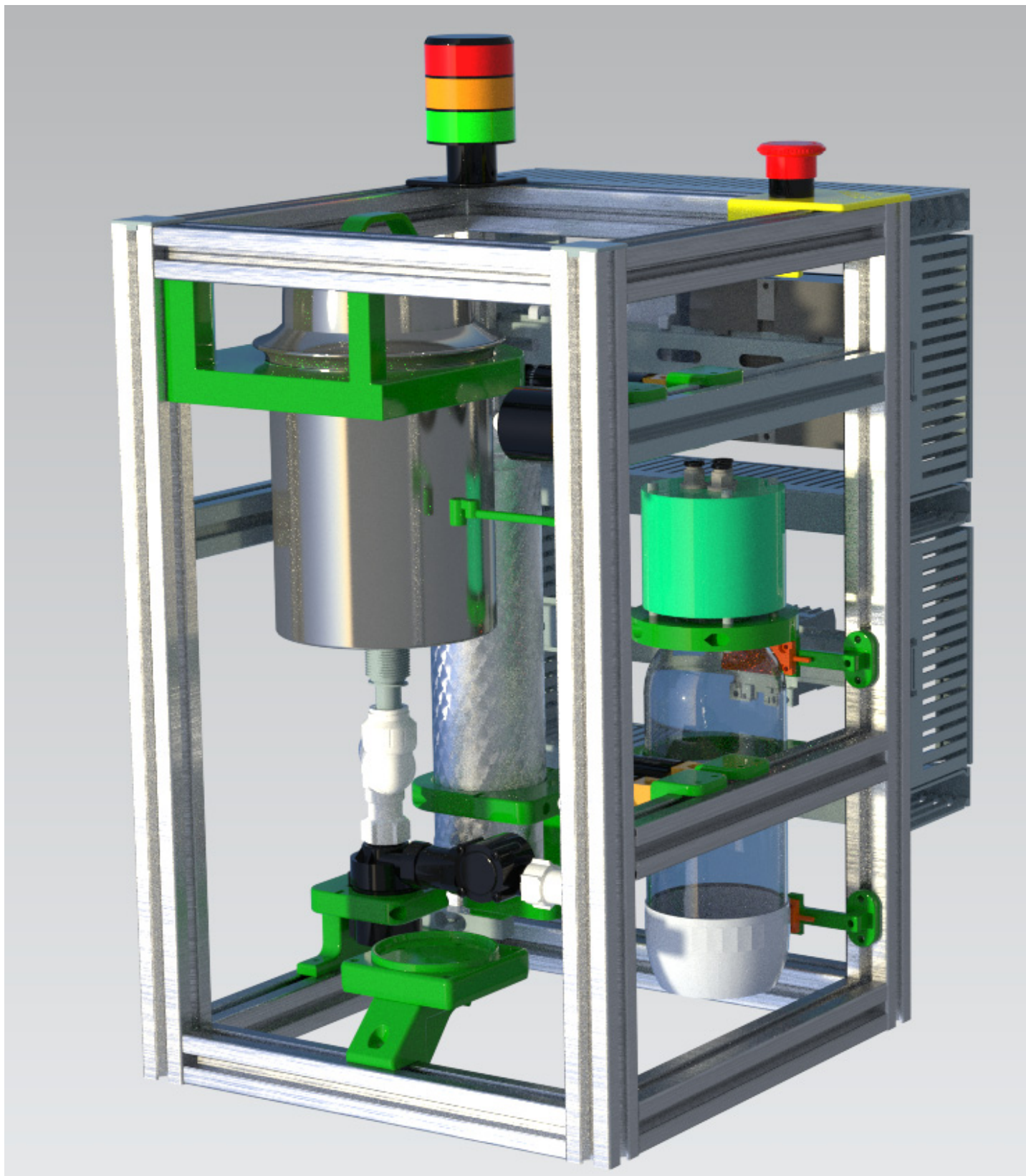
### **Symboly:**

M, m	-	hmotnost	[kg]
$\rho$	-	hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]
V	-	objem	[m <sup>3</sup> ]
d	-	průměr dna nerezové nádrže	[mm]
l	-	výška nádrže	[mm]
v	-	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
p	-	tlak	[Pa]
g	-	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
h	-	výška hladiny	[m]
U, u	-	napětí	[V]
I, i	-	proud	[A]
L	-	indukčnost	[mH]
t	-	čas	[s]
R	-	elektrický odpor	[ $\Omega$ ]
$\rho$	-	měrný elektrický odpor	[ $\Omega$ .mm <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup> ]
l	-	délka vodiče	[m]
S	-	průřez vodiče	[mm <sup>2</sup> ]

# Seznam příloh

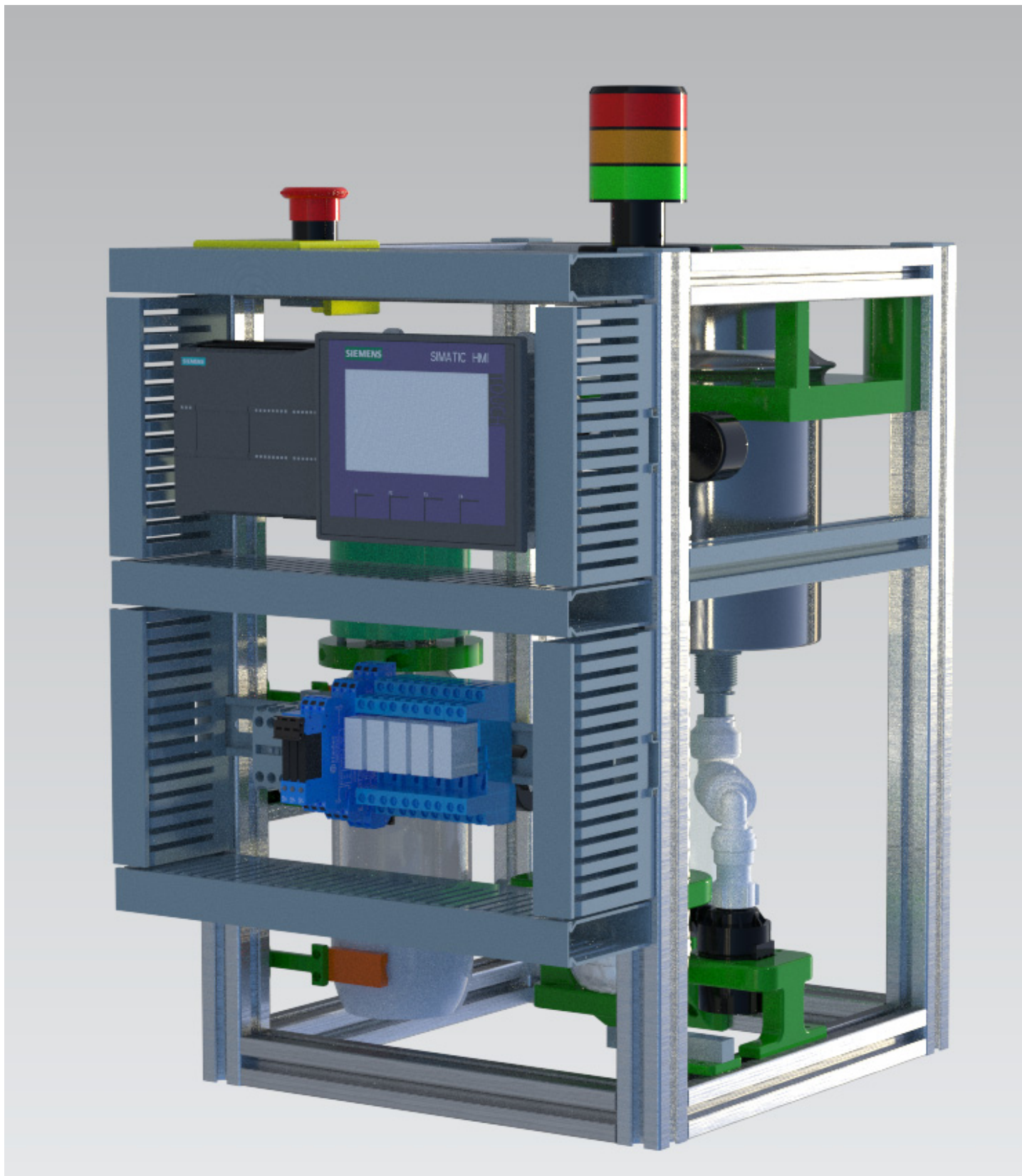
Příloha 1: 3D model buňky Sodovač v NX12 – Pohled 1 .....	54
Příloha 2: 3D model buňky Sodovač v NX12 – Pohled 2 .....	55
Příloha 3: Reálná podoba buňky Sodovač – Foto 1.....	56
Příloha 4: Reálná podoba buňky Sodovač – Foto 2.....	57
Příloha 5: Hydro-pneumatické schéma - Zvětšeno.....	58
Příloha 6: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 1 .....	59
Příloha 7: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 2 .....	60
Příloha 8: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 3 .....	61
Příloha 9: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 4 .....	62
Příloha 10: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 5.....	63
Příloha 11: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 6.....	64
Příloha CD: Konstrukční díly buňky - NX12.....	CD
Příloha CD: Elektrická dokumentace buňky - WSCAD .....	CD
Příloha CD: Soubory pro návrh DPS pro tenzometr .....	CD
Příloha CD: Hydro-pneumatické schéma .....	CD
Příloha CD: Řídicí program - TIA Portal .....	CD

**Příloha 1: 3D model buňky Sodovač v NX12 – Pohled 1**





**Příloha 2: 3D model buňky Sodovač v NX12 – Pohled 2**





**Příloha 3: Reálná podoba buňky Sodovač – Foto 1**

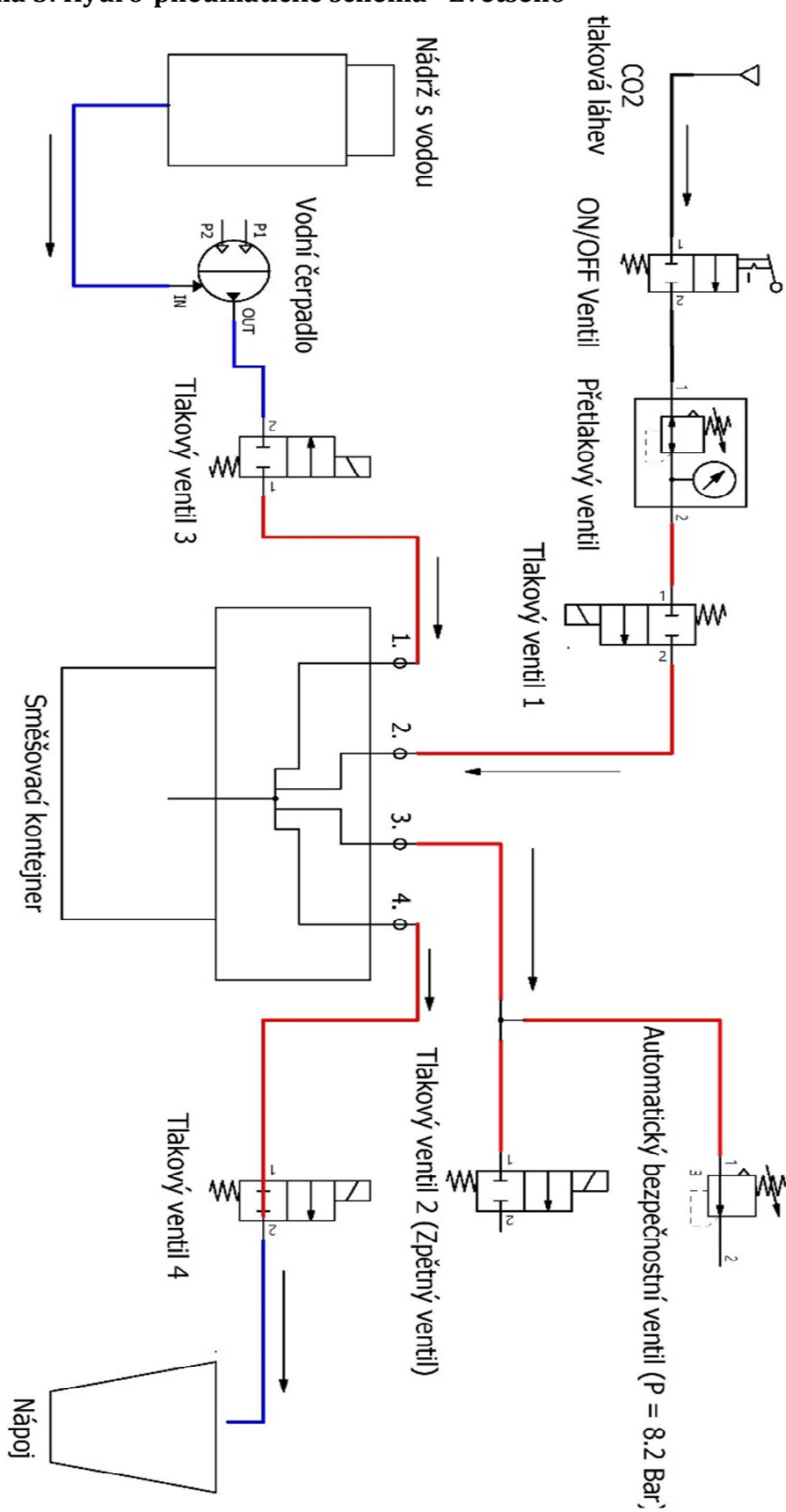




Příloha 4: Reálná podoba buňky Sodovač – Foto 2



## Příloha 5: Hydro-pneumatické schéma - Zvětšeno



The diagram illustrates the electrical wiring for a control system. It features a power supply section with terminals for 5V, 12V, 24V, and PE. A terminal block for 'Svoika' provides 5V, 12V, and 24V signals. A terminal block for 'X2' shows 5V, 12V, and 24V signals. A terminal block for 'X1' shows 5V, 12V, and 24V signals. The main control circuit includes a contactor (Eaton DILEM-10-Q1) and four relays (Finder 55R 12V DC). The relays are labeled Q2, Q3, Q4, and Q5. The diagram shows the wiring for the Emergency STOP signal, the STOP signal, and the PORUCHA signal. The diagram is labeled with 'S1' and 'S2'.

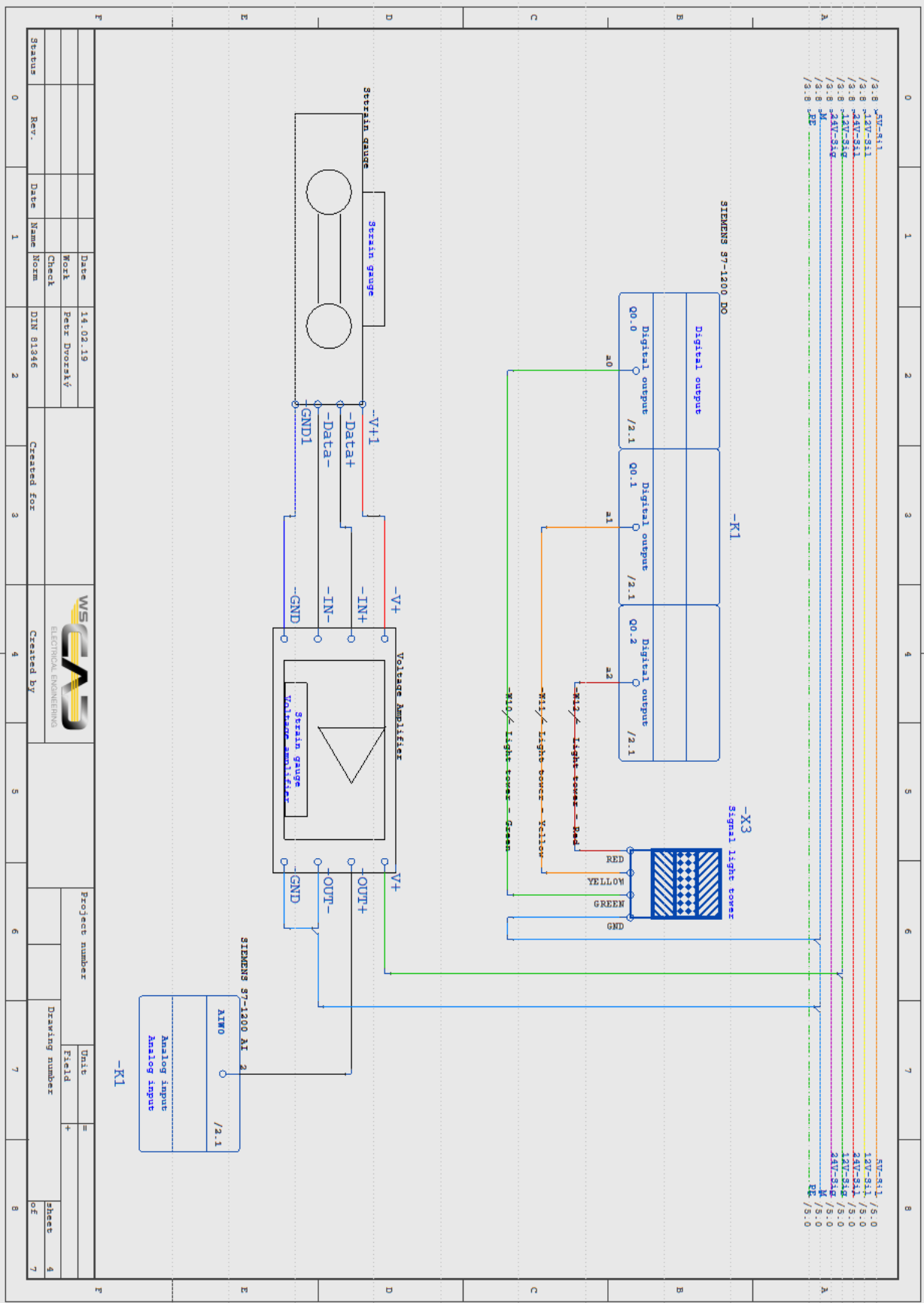
Rev.	Date	Norm	Created for	Created by	Project number	Drawn number	Sheet	of
0	14.02.19						1	7
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

[illegible]

[illegible]



Příloha 9: Elektrická dokumentace buňky – WSCAD – Str. 4



**Legend:**

Symbol	Description
4.8	24V-511
4.8	12V-511
4.8	24V-511
4.8	12V-511
4.8	24V-511
4.8	12V-511
4.8	24V-511
4.8	12V-511

**Project Details:**

Project number	Unit	Field
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8



[illegible]